مؤسسة عبد الحميد شومان

مركز دراسات الوحدة العربية

سلسلة تاريخ العلوم العربية (٤)

موسوعة تاريخ العلوم العربية

الجزء الأول

علم الفلك النظري والتطبيقي

الهيئة • آلات الأظلال والميقات • الجغرافيا الرياضية • علوم البحار

إشراف: رشدي راشد

هذا الكتاب

منذ أن رأى تاريخ العلوم النور كحقل معرفة في القرن الثامن عشر آخذاً مكانه في القلب من «فلسفة التنوير»، لم ينقطع اهتمام فلاسفة ومؤرخي العلوم بالعلم العربي وتوسلهم لدراسته، أو لدراسة بعض فصوله على الأقل. فعلى غرار كوندورسيه، رأى بعضهم في العلم العربي استمراراً لتقدم «الأنوار» في فترة هيمنت فيها «الخرافات والظلمات»؛ أما بعضهم الآخر مثل مونتوكلا خاصة، فقد اعتبر دراسته ضرورة لا لرسم اللوحة التاريخية الإجمالية لتطور العلوم فحسب، بل لتثبيت وقائع تاريخ كل من الفروع العلمية أيضاً. لكن الفلاسفة والمؤرخين لم يتلقوا من العلم العربي سوى أصداء حملتها إليهم الترجمات اللاتينية القديمة.

من هنا، فإن هذا الكتاب قد صمم وحقق لكي يكون لبنة في صرح كتابة تاريخ العلم العربي بشكل موثق توثيقاً كاملاً. إنه في الواقع تركيب أول لم ينفذ مطلقاً من قبل على هذا الشكل. لقد أضحى هذا التركيب ممكناً اليوم نتيجة الأبحاث التي ما زالت تتراكم منذ القرن المنصرم، والتي نشطت بدءاً من خمسينيات القرن الحالي. وقد التمسنا إسهامات ذوي الاختصاص في كل من الفصول الثلاثين التي تؤرخ لأصناف العلوم العربية وتوثق لها بالصور والجداول. ويشكل هؤلاء فريقاً دولياً من الاختصاصيين، من أوروبا وأمريكا والشرق الأوسط وروسيا لإنجاز هذا الكتاب على نحو مرجعي حق يغطي مجالات مختلفة كالفلك والرياضيات والبصريات والطب والموسيقى والملاحة والمؤسسات العلمية. إن القارىء سيجد نفسه أمام كتاب في تاريخ العلم على امتداد حوالى سبعة من القرون.

وتشتمل موسوعة تاريخ العلوم العربية على ثلاثة أجزاء:

الجزء الأول: **علم الفلك النظري والتطبيقي.**

الجزء الثاني: **الرياضيات والعلوم الفيزيائية.**

الجزء الثالث: **التقانة ـ الكيمياء ـ علوم الحياة.**

مركز دراسات الوحدة العربية

بناية «سادات تاور» شارع ليون

ص.ب: ٦٠٠١ ـ ١١٣ ـ بيروت ـ لبنان

تلفون: ٨٦٩١٦٤ ـ ٨٠١٥٨٢ ـ ٨٠١٥٨٧

برقياً: «مرعربي» ـ بيروت

فاكس: ٨٦٥٥٤٨ (٩٦١١)

ثمن الاجزاء الثلاثة

٣٠ دولاراً أو ما يعادلها

موسوعة
تاريخ العلوم العربية

الجزء الأول

علم الفلك النظري والتطبيقي

تم ترجمة هذه الموسوعة إلى العربية ونشرها

بدعم من المؤسسة الثقافية العربية

ومن مؤسسة عبد الحميد شومان

كز دراسات الوحدة العربية

مؤسسة عبد الحميد شومان

لة تاريخ العلوم العربية (٤)

موسوعة
تاريخ العلوم العربية

الجزء الأول

علم الفلك النظري والتطبيقي

الهيئة • آلات الأظلال والميقات • الجغرافيا الرياضية • علوم البحار

إشراف : رشدي راشد

بمعاونة : ريجيس مورلون

الفهرسة أثناء النشر ـ إعداد مركز دراسات الوحدة العربية

موسوعة تاريخ العلوم العربية/ إشراف رشدي راشد، بمعاونة ريجيس مورلون.

٣ ج. ـ (سلسلة تاريخ العلوم العربية؛ ٤)

يشتمل على فهارس.

محتويات: ج ١. علم الفلك النظري والتطبيقي. ـ ج ٢. الرياضيات والعلوم الفيزيائية. ـ ج ٣. التقانة ـ الكيمياء ـ علوم الحياة.

١. العلوم عند العرب ـ الموسوعات. أ. راشد، رشدي. ب. مورلون، ريجيس. ج. السلسلة.

503

«الآراء الواردة في هذا الكتاب لا تعبّر بالضرورة
عن اتجاهات يتبناها مركز دراسات الوحدة العربية»

مركز دراسات الوحدة العربية

بناية «سادات تاور» شارع ليون ص.ب: ٦٠٠١ ـ ١١٣ ـ بيروت ـ لبنان
تلفون: ٨٦٩١٦٤ ـ ٨٠١٥٨٢ ـ ٨٠١٥٨٧
برقياً: «مرعربي» ـ بيروت
فاكس: ٨٦٥٥٤٨ (٩٦١١)

حقوق الطبع والنشر محفوظة للمركز

الطبعة الأولى

بيـــروت، ١٩٩٧

المؤلفون

ـ **رشدي راشد**: مدير مركز تاريخ العلوم والفلسفات العربية والعصر الوسيط (المركز القومي الفرنسي للبحث العلمي)؛ مدير أبحاث في المركز الوطني للبحث العلمي ـ باريس؛ أستاذ في جامعة طوكيو؛ مدير تحرير **مجلة العلوم والفلسفة العربية** (جامعة كامبريدج)؛ عضو الأكاديمية الدولية لتاريخ العلوم؛ عضو مراسل في مجمع اللغة العربية في القاهرة، وعضو أكاديمية علوم العالم الثالث.

ـ **ريجيس مورلون**: باحث في المركز الوطني للبحث العلمي ـ باريس، ومدير المعهد الدومينيكي للدراسات الشرقية ـ القاهرة.

ـ **جورج صليبا**: أستاذ في جامعة كولومبيا ـ الولايات المتحدة الأمريكية.

ـ **داڤيد كينغ**: معهد تاريخ العلوم، جامعة جوان وُلفغانغ، غوته ـ فرانكفورت ـ ألمانيا.

ـ **هنري هوغونار ـ روش**: مدير أبحاث في المعهد التطبيقي للدراسات العليا ـ باريس.

ـ **إدوار س. كينيدي**: أستاذ في الجامعة الأميركية في بيروت.

ـ **هنري غروسّي ـ غرانج**: قبطان إبحارات بعيدة المدى ـ فرنسا، متوفّى.

ـ **برنار ر. غولدشتاين**: أستاذ في جامعة بيتسبورغ.

ـ **خوان ڤيرني**: أستاذ في جامعة برشلونة.

ـ **خوليو سامسو**: أستاذ في جامعة برشلونة.

ـ **أحمد سعيد سعيدان**: أستاذ في جامعة الأردن ـ عمّان، متوفّى.

ـ **بوريس أ. روزنفيلد**: قسم الرياضيات، الجامعة الرسمية ـ بانسيلڤانيا ـ الولايات المتحدة الأمريكية.

- **أدولف ب. يوشكفيتش**: عضو أكاديمية العلوم الروسية ورئيس الأكاديمية العالمية لتاريخ العلوم.

- **ماري تيريز ديبارنو**: أستاذة الرياضيات في معهد هنري الرابع - باريس.

- **أندريه آلار**: المؤسسة الوطنية للبحث العلمي (FNRS) البلجيكية، لوڤان - بلجيكا.

- **جان كلود شابربيه**: باحث في المركز الوطني للبحث العلمي - فرنسا.

- **ماريا م. روزنسكايا**: أكاديمية العلوم الروسية - موسكو.

- **غول أ. راسل**: قسم العلوم الانسانية في الطب، جامعة «A & M»، تكساس - الولايات المتحدة الأمريكية.

- **دايفيد ليندبرغ**: قسم تاريخ العلوم، جامعة ويسكونسين - الولايات المتحدة الأمريكية.

- **دونالد هيل**: أستاذ في يونيفرسيتي كولدج - لندن، متوفى.

- **أندريه ميكال**: كولِّيج دو فرانس (Collège de France) - باريس.

- **توفيق فهد**: أستاذ في جامعة ستراسبورغ.

- **جورج قنواتي**: مؤسس المعهد الدومينيكي للدراسات الشرقية في القاهرة، متوفّى.

- **روبير هالّو**: أستاذ في جامعة لياج - بلجيكا.

- **إميلي ساڤاج - سميث**: معهد وَلْكَم لتاريخ الطب - أوكسفورد.

- **دانيال جاكار**: مديرة أبحاث في المعهد التطبيقي للدراسات العليا - باريس.

- **فرانسواز ميشو**: أستاذة في جامعة باريس.

- **جان جوليڤه**: مدير أبحاث في المعهد التطبيقي للدراسات العليا - باريس.

- **محسن مهدي**: أستاذ في جامعة هارفرد - الولايات المتحدة الأمريكية.

المترجمون

فريق القراءة في التراث العلمي:

ـ د. **نقولا فارس:** قسم الرياضيات، كلية العلوم، الجامعة اللبنانية؛ قسم الرياضيات، جامعة ريمس ـ فرنسا، والمنسق العام لترجمة موسوعة تاريخ العلوم العربية.

ـ د. **بدوي المبسوط:** أستاذ في جامعة باريس (٦).

ـ د. **نزيه عبد القادر المرعبي:** قسم الكيمياء، كلية الهندسة، الجامعة اللبنانية.

ـ د. **شكر الله الشالوحي:** قسم الفيزياء، الجامعة اللبنانية.

ساهم في الترجمة:

ـ د. **عطا جبّور:** عميد كلية الهندسة، الجامعة اللبنانية.

ـ أ. **منى غانم:** أستاذة رياضيات في التعليم الثانوي.

ـ د. **توفيق كرباج:** رئيس قسم النظريات الموسيقية في المعهد العالي الوطني للموسيقى ـ لبنان.

ـ د. **جوزف إليان:** قسم الجغرافيا، كلية الآداب، الجامعة اللبنانية.

ـ د. **سيف الدين الضناوي:** قسم العلوم الطبيعية ـ علم النبات، الجامعة اللبنانية.

ـ د. **حنا مراد:** طبيب جراح ومدير مستشفى في ايبيرنيه، شامباني ـ فرنسا.

المحتويات

الجزء الأول
علم الفلك النظري والتطبيقي

المقدمة العامة .... رشدي راشد ١٣

كلمة لجنة الترجمة ٢١

ملاحظات حول ترجمة القسم الفلكي من الموسوعة ٢٣

١ ـ مقدمة في علم الفلك .... ريجيس مورلون ٢٥

٢ ـ علم الفلك العربي الشرقي بين القرنين

الثامن والحادي عشر .... ريجيس مورلون ٤٧

٣ ـ نظريات حركات الكواكب في علم الفلك العربي

بعد القرن الحادي عشر .... جورج صليبا ٩٥

٤ ـ علم الفلك والمجتمع الاسلامي .... داڤيد كينغ ١٧٣

٥ ـ تأثير علم الفلك العربي في الغرب

في القرون الوسطى .... هنري هوغونار ـ روش ٢٣٩

٦ ـ الجغرافيا الرياضية .... إدوار س. كينيدي ٢٦٧

٧ ـ علم الملاحة العربي .... هنري غروسّي ـ غرانج ٢٩٣

٨ ـ إرث العلم العربي في العبرية .... برنار ر. غولدشتاين ٣٣٩

٩ ـ تطورات العلم العربي في الأندلس .... خوان ڤيرني وخوليو سامسو ٣٥١

المراجع ٤٠٣

الجـزء الـثـانـي
الرياضيات والعلوم الفيزيائية
(يصدر في جزء مستقل)

١٠ ـ الأعداد وعلم الحساب .... أحمد سعيد سعيدان

١١ ـ الجبـر .... رشدي راشد

١٢ ـ التحليل التوافيقي، التحليل العددي،

التحليل الديوفنطسي ونظرية الأعداد .... رشدي راشد

١٣ ـ التحديدات اللامتناهية في الصغر، وتربيع الهلاليات

ومسائل تساوي المحيطات .... رشدي راشد

١٤ ـ الهنـدسـة .... بوريس أ. روزنفيلد

أدولف ب. يوشكفيتش

١٥ ـ علم المثلّثات: من الهندسة إلى علم المثلّثات .... ماري تيريز ديبارنو

١٦ ـ تأثير الرياضيات العربية في الغرب

في القرون الوسطى .... أندريه آلار

١٧ ـ علـم المـوسيقى .... جان كلود شابرييه

١٨ ـ علم السكون (الستاتيكا) .... ماريا م. روزنسكايا

١٩ ـ علم المناظر الهندسية .... رشدي راشد

٢٠ ـ نشأة علم البصريات الفيزيولوجي .... غول أ. راسل

٢١ ـ الاستقبال الغربي لعلم المناظر العربي .... دايفيد ليندبرغ

المـراجـع ....

الجزء الثالث

التقانة ـ الكيمياء ـ علوم الحياة

(يصدر في جزء مستقل)

٢٢ ـ الهندسة المدنية والميكانيكية .... دونالد هيل

٢٣ ـ الجغرافيا .... أندريه ميكال

٢٤ ـ علم النبات والزراعة .... توفيق فهد

٢٥ ـ الخيمياء العربية .... جورج قنواتي

٢٦ ـ استقبال الخيمياء العربية في الغرب .... روبير هالّو

٢٧ ـ الطب .... إميلي ساڤاج ـ سميث

٢٨ ـ تأثير الطب العربي في الغرب
خلال القرون الوسطى .... دانيال جاكار

٢٩ ـ المؤسسات العلمية في الشرق الأدنى
في القرون الوسطى .... فرانسواز ميشو

٣٠ ـ تصنيف العلوم .... جان جوليڤه

خاتمة: مقاربات من أجل تاريخ للعلم العربي .... محسن مهدي

المراجع ....

الفهارس ....

المقدمة العامة

رشدي راشد(*)

منذ أن رأى تاريخ العلوم النور كحقل معرفة في القرن الثامن عشر، آخذاً مكانه في القلب من «فلسفة التنوير»(١)، لم ينقطع اهتمام فلاسفة ومؤرخي العلوم بالعلم العربي(٢) وتوسلهم لدراسته، أو لدراسة بعض فصوله على الأقل. فعلى غرار كوندورسيه، رأى بعضهم في العلم العربي استمراراً لتقدم «الأنوار»(٣) في فترة هيمنت فيها «الخرافات والظلمات»؛ أما البعض الآخر مثّل مونتوكلا خاصة، فقد اعتبر دراسته ضرورة لا لرسم معالم اللوحة التاريخية الإجمالية لتطور العلوم، بل لتثبيت وقائع تاريخ كلٍ من الفروع العلمية. لكن الفلاسفة، والمؤرخين، لم يتلقوا من العلم العربي سوى أصداء حملتها إليهم الترجمات اللاتينية القديمة. وهنا يلزم الاحتراز من إفراط في التعميم أو من خطأ في الرؤية، كما يتوجب التذكير بأن الصلات بين المواد العلمية وتاريخها ليست دائماً متساوية. فعلم الفلك، مثلاً، هو من بين العلوم ـ الرياضية على الأقل ـ الأوثق ارتباطاً بتاريخه. إن ضرورة اطلاع الفلكي على قيم أرصاد أسلافه المختزنة في الكتب على امتداد الزمن، تكفي لتفسير وثاقة هذا الارتباط. لذا بدا علم الفلك العربي مميزاً بما ناله من اهتمام مبكر من المؤرخين أمثال كوسين دو پرسيڤال (Caussin de Perceval) وديلمبر(Delambre) وخاصة

(*) مدير مركز تاريخ العلوم والفلسفات العربية والعصر الوسيط (المركز القومي الفرنسي للبحث العلمي) وأستاذ في جامعة طوكيو.

قام بترجمة هذه المقدمة العامة نقولا فارس.

(١) هي الفلسفة التي طبعت القرن الثامن عشر في أوروبا الغربية بحيث سمّي هذا القرن نفسه بـ «قرن التنوير». من أعلامها: فولتير، ديدرو، روسو، ومونتسكيو... (المترجم).

(٢) يُقصد بهذا التعبير العلم المكتوب بالعربية، كما يُقصد بتعبير «العلم اليوناني» العلم المكتوب باليونانية، وقس على ذلك.

(٣) انظر الهامش رقم (١) أعلاه.

ج. ج. سيديّو (J. J. Sédillot)، هذا إذا اقتصرنا على ذكر علماء فرنسيين من مطلع القرن التاسع عشر.

وما لبثت صورة العلم العربي فيما بعد، في مجرى ذلك القرن نفسه أن تعرضت لتحولات واكتست بشوائب. فالفلسفة الرومانسية الألمانية والمدرسة الفلسفية «اللغوية» التي تولدت منها، أعطت العلوم التاريخية دفعاً قوياً وتوسعاً كبيراً، استفاد تاريخ العلم العربي منه في مرحلة أولى قبل أن يصبح من ضحاياه لاحقاً. فانسجاماً مع هذه الفلسفة نشطت دراسة النصوص الإغريقية واللاتينية بحيث لم يعد بالإمكان الاستغناء عن دراسة المؤلفات العربية(٤). ولكن «دراسة التاريخ بواسطة اللغات»، وهي الاتجاه الفلسفي الذي ركزنا عليه في غير هذا المكان(٥)، كانت بمثابة شرك بدأ يحاك معرّضاً دراسة تاريخ العلم العربي لحركة تقهقر فعلي. فمن الوجهة «الشرعية» لهذه الفلسفة، فقد العلم العربي حقه في الوجود بينما كان الواقع يفرضه على المؤرخين الذين كان يتزايد رجوعهم إليه.

لم يقتصر وجود هذا التناقض على مؤلفات في الدرجة الثانية من الأهمية فحسب، بل نراه يخترق من البداية إلى النهاية مؤلّفاً هائلاً مثل **نظام العالم** *(Système du monde)* لبيير دوهيم (Pierre Duhem). إنه، في العمق، تناقض حتمي، فمهما كانت القناعات العقائدية لمؤرخ العلوم، لم يكن باستطاعته تفادي العلم العربي لدى تصديه لوقائع المادة العلمية التي هو بصدد رسم تاريخها. إن هذا المؤرخ، انسياقاً مع خط عقيدة «الإنتماء الغربي للعلوم»، يستطيع أن يرى في العلم العربي خزاناً حفظت فيه العلوم الهلّينستية، أو أن يعتبره، بشكل ما، علماً هلّينستياً محدثاً: فالعلم، كنظرية، يوناني؛ وهو من حيث التجربة والتطبيق، وليد القرن السابع عشر. أما العلم العربي حسب هذه العقيدة، فقد يشكل حقلاً للتنقيب يحفر فيه المؤرخ بحثاً عن آثار الحضارة اليونانية. وغالباً ما أدت ممارسات كهذه إلى تشويه نتائج العلم اليوناني وتلك العائدة للقرن السابع عشر على السواء. وكان هذا التشويه حتمياً؛ فلا بد من التواء السلسلة التاريخية المتواصلة إذا ما ضُمّت حلقتان متباعدتان من حلقاتها. كما أدت هذه الممارسات من ناحية أخرى وبنسب متفاوتة، إلى هفوات كبيرة لا على صعيد تفسير هذه النتائج وتأويلها فحسب، بل أيضاً على صعيد إدراكها. إن مثل هذه النظرات العقائدية هي التي منعت كارا دو ڤو (Carra de Vaux) ـ مترجم النص الفلكي لنصيرالدين

---

(٤) انظر، مثلاً، مؤلفات: ج. ليبري (G. Libri) وب. بونكومباني (B. Boncompagni) وم. كروتز (M. Crutz) وا. ل. هايبرغ (I. L. Heiberg).

(٥) رشدي راشد، **تاريخ الرياضيات العربية بين الجبر والحساب**، ترجمة حسين زين الدين، سلسلة تاريخ العلوم عند العرب؛ ١ (بيروت: مركز دراسات الوحدة العربية، ١٩٨٩)، وهو ترجمة عن الأصل الفرنسي: *Entre arithmétique et algèbre: Recherches sur l'histoire des mathématiques arabes* (Paris: Les Belles lettres, 1984).

الطوسي - والتي منعت المؤرخ المعروف ب. تانّري (P. Tannery) - الذي يستشهد به - من أن يتنبها إلى التجديد الذي حواه هذا النص والذي أشار إليه أ. نوجبُور (O. Neugebauer) فيما بعد. ولكن مؤرخ العلوم الكلاسيكية تمكن من القطع مع هذه العقيدة. فمع ألكسندر ڤون همبولدت (A. Von Humboldt)، رأت النور ممارسة تاريخية أخرى، معاصرة للأولى، حيث - تأثراً بأفكاره - آلى عدد من العلماء على أنفسهم القيام بدراسة مباشرة ومجددة لتاريخ العلوم العربية. نذكر منهم ف. وبكيه (F. Woepcke) ول. أ. سيديو (L. A. Sédillot) اللذين توبعت مهماتهما في ما بعد من قبل نالّينو (Nallino) ووايدمان (Wiedemann) وسوتر (Suter) وروسكا (Ruska) وكاربنسكي (Karpinsky) وهيرشبرغ (Hirchberg) وكراوس (Kraus) ولوكي (Luckey) ونظيف (Nazif). . . الخ، مما أدى، ابتداءً من خمسينيات هذا القرن، إلى تسارع لم يسبق له مثيل لهذا التيار من البحث التاريخي.

إن هذه الأعمال المتراكمة منذ بضع عشرات من السنين، تفتح الطريق أمام معرفة أفضل لتاريخ العلم العربي ولإسهامه في العلم الكلاسيكي. إنها تسمح أيضاً بإدراك إحدى الميزات الأساسية لهذا العلم، وهي ميزة بقيت إلى الآن في الظل. ففي العلم العربي تحقق ما كان يوجد كُموناً في العلم الإغريقي: فما نجده عند العلماء اليونانيين اتجاهاً جنينياً لتخطي حدود منطقة ما ولكسر طوق ثقافة معينة وتقاليدها ولاكتساء أبعاد عالم بأسره، نراه وقد أصبح واقعاً مكتملاً في «علم تطور حول منطقة البحر المتوسط لا كرقعة جغرافية وحسب، إنما كبؤرة تواصل وتبادل لكل الحضارات في مركز العالم القديم وعلى أطرافه»(٦).

«عالمي»، هي صفة بإمكاننا اليوم استخدامها لوصف العلم العربي. إنه عالمي بمصادره ومنابعه، بتطوراته وامتداداته. وعلى الرغم من أن هذه المصادر هي يونانية غالباً، إلا أنها تحوي كتابات سريانية وسنسكريتية وفارسية. وبديهي ألا تتعادل هذه الإسهامات من حيث تأثيرها، إلا أن تعدديتها كانت أساسية في تكوّن العلم العربي. وحتى في مجال الرياضيات حيث يمكن من دون أي حرج نعت العلم العربي بـ «وريث» العلم اليوناني، يتعين على المستقصي عن الفهم بالعمق، العودة إلى المصادر الأخرى. ففي الفصل المتعلق بعلم الفلك، سنرى مثلاً، أهمية الجذور الهندية والفارسية التي لا تطال علم فلك الأرصاد والحسابات فحسب، إنما تتعداه إلى مجال تصور التشكيل الجديد لعلم الفلك البطلمي.

وهنا، ضمن هذا الإطار الجديد، مهما بلغت أهمية نقل النتائج العلمية، فإنها لن تصل إلى مستوى تلك التي يرتديها إفساح المجال أمام اشتراك، واندماج، تقاليد علمية مختلفة غدت موحدة تحت قبة الحضارة الإسلامية الواسعة. الجديد في هذه الظاهرة أنها لم تعد

---

(٦) المصدر نفسه.

ثمرة صدف لقاءات أو نتاج مرور منتظم أو غير منتظر لقوافل أو لبحّارة؛ إنها النتيجة المتعمدة لحركة ترجمة كثيفة، علمية وفلسفية، قام بها محترفون ـ في نوع من التنافس أحياناً ـ مدعومة من السلطة ومدفوعة بالبحث العلمي نفسه، مولّدة مكتبة تتناسب مع حجم عالَم تلك الحقبة. وهكذا غدت تقاليد علمية مختلفة الأصول واللغات عناصر من حضارة لغتها العلمية هي العربية، وأضحت تمتلك وسائل تأثير فيما بينها مكّنتها من التوصل إلى طرق جديدة، بل أحياناً إلى حقول علمية جديدة (انظر مثلاً الفصل الحادي عشر: الجبر). إن الدراسة الاجتماعية للعلم العربي لا بد من أن توضح لنا في يوم ما، دور المجتمع والمدينة الإسلامية في هذه الحركة التاريخية. عند ذلك قد نستطيع أن نفهم كيف تمكنت من الالتقاء والتزاوج، تيارات علمية كانت مستقلة إلى ذلك الحين.

إن هذه السمة التي طبعت المراحل الأولى من العلم العربي، استمرت تتأكد فيما بعد. فلقد تابع علماء القرنين الحادي عشر والقرن الثاني عشر مناقشة النتائج التي تم التوصل إليها في الأماكن الأخرى وفي توسيعها ودمجها في بنىً نظرية، غالباً ما كانت غريبة عن حقولها الأصلية. إن هذه الظاهرة التي نلاحظها في الطب وعلوم العقاقير والكيمياء، تطال أيضاً العلوم الرياضية كما تشهد على ذلك مؤلّفات البيروني أو أعمال السموأل فيما بعد حول الطرق الهندية للاستكمال التربيعي أو الصياغة التي قدمها ابن الهيثم لمبرهنة «البقية الصينية» في نظرية الأعداد.

فلقد بات من الممكن، مع العلم العربي، أن نقرأ في لغة واحدة، ترجمات الإنتاج العلمي القديم والأبحاث الجديدة على السواء. وكانت هذه القراءة تتم في سمرقند كما في غرناطة مروراً ببغداد ودمشق والقاهرة وپالرمو. وحتى عندما كان العالِم يكتب بلغته الأم، خاصة بالفارسية ـ مثل النَسَوي أو نصير الدين الطوسي ـ كان يقوم بنفسه بنقل مؤلّفه إلى العربية. باختصار، ابتداءً من القرن التاسع كان للعلم لغة هي العربية؛ حتى إن هذه اللغة بدورها أخذت بعداً كونياً؛ فلم تعد لغة لشعب بل لعدة شعوب، ولا لغة لثقافة معينة إنما لغة كل المعارف. وهكذا فتحت معابر لم تكن موجودة من قبل، تسهل الاتصال المباشر بين المراكز العلمية المنتشرة ما بين حدود الصين والأندلس، كما وتسهل التبادل بين العلماء. ولا بد، في هذا المجال، من التأكيد على نوعين من الممارسات عرفا انطلاقة لم يسبق أن حدث مثيل لها. أولى هذه الممارسات هي الأسفار العلمية كوسيلة للتعلم والتلقين، يدل عليها ما سجله أصحاب كتب **الطبقات** حول سير بعض العلماء وتنقلاتهم: ابن الهيثم بين البصرة والقاهرة، ابن ميمون بين قرطبة والقاهرة؛ شرف الدين الطوسي بين طوس ودمشق مروراً بهمذان والموصل وحلب... أما النوع الثاني من الممارسات فتجلى في المكاتبة والمراسلات العلمية التي شكلت أداة لتعاون العلماء ونشر الأبحاث وأضحت لوناً جديداً من ألوان الأدب له استخداماته كما له معاييره الخاصة. هذا العلم

العالمي قياساً على أبعاد عصره كان يتقدم، إذن، محاطاً بموكب من التحولات. فالعلاقات بين التقاليد العلمية القديمة تعدلت، وتغيرت محتويات المكتبة العلمية؛ أما حركة العلماء والأفكار فغدت أنشط بما لا يقاس مما كانت عليه في السابق.

إن بقاء هذه السمة في الظل وعدم التنبه إليها من قبل المؤرخين، رغم تمتعها بهذا المستوى من الأساسية ومن الوضوح أيضاً، لأمرٌ من شأنه أن يثير الدهشة. ومن الطبيعي هنا إرجاع الأمر إلى النظرة المواربة لايديولوجية تاريخية ترى في العلم الكلاسيكي فعلاً للإنسانية الأوروبية فحسب. لكن، إلى هذا يجب لحظ اعتبارين، يعود أولهما إلى تاريخ العلوم والثاني إلى الكتابات في هذا التاريخ. نبدأ، من جهة أولى، بالروابط المميزة التي توحد بين العلم العربي وبين امتداداته اللاتينية، وبشكل عام بينه وبين العلم الذي تطور في أوروبا الغربية حتى القرن السابع عشر؛ وفي الواقع، لا يمكن فهم شيء من العلم اللاتيني بدءاً من القرن الثاني عشر من دون أن تؤخذ بالاعتبار الترجمات اللاتينية التي حصلت انطلاقاً من العربية. إن الأبحاث الأكثر تقدماً في اللاتينية، مثل أبحاث فيبوناتشي (Fibonacci) وجوردان دو نيمور (Jordan de Nemour) في الرياضيات، وتلك العائدة إلى ويتلو (Witelo) أو ثيودوريك دو فريبرغ (Théodoric de Freiberg) في البصريات. . .، لا يمكن أن تُقدَّر حق قدرها إذا لم نرجع إلى الخوارزمي وأبي كامل وابن الهيثم. إن هذه الروابط الوثيقة أسرت أنظار المؤرخين تاركة في الظل العلاقات التي توحد بين العلوم العربية وتلك العائدة للجزء الآخر من العالم، الهند والصين. أما الاعتبار العائد للكتابات التاريخية فهو المتمثل باستعلاء علم القرن السابع عشر. هذا العلم الذي اعتبر ـ بغير حق ـ سبيكاً واحداً وثورياً من البداية إلى النهاية، بلغ في كتابات المؤرخين تسامياً يتنافى مع التاريخ كعلم، بحيث جعل المرجع المطلق الذي تتحدد بالنسبة إليه مواقع ومكانات العلوم السابقة. إن هذا التعالي المطلق صيغ كإحدى المصادرات البديهية في غياب المعرفة الصحيحة لأعمال مدرسة مراغة وما سبقها في علم الفلك وأعمال الخيام وشرف الدين الطوسي في الجبر والهندسة الجبرية وكتابات الرياضيين في المتناهيات في الصغر من ابن قرة إلى ابن الهيثم. . . لذلك كان من الطبيعي أن يحفر هذا التعالي فراغاً قبل الأعمال العلمية للقرن السابع عشر مكيّفاً العلم العربي طامساً معالمه الأبرز.

وليس من شأن الإلمام الجيد بالعلم العربي النيل من مكانة تجديد كبلر في علم الفلك وغاليليو في علم الحركة وفيرما في نظرية الأعداد؛ بل على العكس من ذلك، فإنه يساعد على تحديد موقع هذا التجديد بمزيد من الدقة، بالبحث عنه حيث هو، لا في مكان آخر كما هو الحال غالباً. إن تقدم هذه المعرفة يقودنا إلى استيعاب أعمق وأدق للنشاطات العلمية التي عرفها ذلك القرن العظيم والقرن الذي سبقه. إنه يحثنا على إعادة النظر في بعض التصورات وفي بعض الطرق التي اعتُمدت في رسم التاريخ، كما يردّ عنّا مفاهيم مشكوك في صحتها، وبشكل خاص مفهوم «النهضة العلمية»، ويحثنا على إدراك الطبيعة

التناقضية لمفاهيم أخرى مثل مفهوم «الثورة العلمية». إلا أن على العلم العربي أن يستعيد الطابع الكوني وهو طابعه الأساس، وهو ما يستوجب علينا تتبع هذا العلم في امتداداته اللاتينية والإيطالية كما في امتداداته العبرية والسنسكريتية والصينية، بالإضافة إلى منجزاته في لغات الحضارة الإسلامية وخاصة في الفارسية. وأخيراً، من أجل معرفة وافية بالعلم العربي، لن يكون هناك بدٌّ من إرجاع هذا العلم إلى إطاره، إلى المجتمع الذي رأى فيه النور بمستشفياته ومراصده وجوامعه ومدارسه. . . فكيف يمكن فهم تطوراته إذا غابت عن بالنا المدينة الإسلامية ومؤسساتها ووظيفة العلم فيها وأهمية الدور الذي استطاع أن يلعبه. إنه لتفكيرٌ ضروري لن يلبث أن يبدد آراء خدّاعة وليدة الجهل، متأصلة إلى يومنا، ما زالت تقوقع العلم ضمن هامشية مزعومة حول تخوم هذه المدينة أو ترصد انحطاطاً علمياً وهمياً ابتداءً من القرن الثاني عشر كنتيجة لردة كلامية دينية متخيلة.

بهذا الثمن فقط يحقق تاريخ العلم العربي مهمتيه الأساسيتين: فتح الطريق أمام فهم حقيقي لتاريخ العلم الكلاسيكي بين القرنين التاسع والسابع عشر، والإسهام في معرفة الثقافة الإسلامية نفسها، وذلك بأن يعيد لها بعداً ما انفك من أبعادها، هو بعد الثقافة العلمية.

إن هذا الكتاب صُمم وحُقق لكي يكون لبنة في صرح نعاون في بنائه، يتمثل في كتابة تاريخ العلم العربي انسجاماً مع المتطلبات التي عبرنا عنها فيما سبق من أسطر. إنه في الواقع، تركيب أول لم ينفذ مطلقاً من قبل في هذا المجال وبهذه النظرة. لقد أضحى هذا التركيب ممكناً اليوم نتيجة الأبحاث التي ما زالت تتراكم منذ القرن المنصرم، والتي نشطت بدءاً من خمسينيات القرن الحالي. وقد التمسنا إسهامات ذوي الاختصاص في كلٍ من الفصول المختلفة لإنجاز هذا التركيب، يتوجهون بها إلى جمهور واسع، مثقف يتجاوز الإطار الضيق لزملائهم، لكن دون الوصول إلى حد التبسيط؛ فما طلب منهم هو كتاب مرجعي حق. ولقد ابتغينا أن نعيد إلى العلم العربي اعتباره وموقعه معطين الأفضلية لتحليل المصادر القديمة ومخصصين فصولاً لامتداداته اللاتينية والعبرية. ونتيجة لعدم توفر الاختصاصيين، غابت الفصول التي تتعلق بالامتدادات الأخرى. إن القارىء سيجد نفسه أمام كتاب في تاريخ العلم على امتداد حوالى سبعة من القرون.

ولكن التركيب، وخاصة إذا كان الأول، لا يمكن أن يسبق البحث الفعلي. ومثل هذا البحث يلزمه الكثير لكي يصل إلى مستويات متساوية في مجالات العلم المختلفة. لذا غاب بعضٌ من فصول العلم العربي وخاصة تلك المتعلقة بعلوم الأرض والحياة. ومن ناحية أخرى، آثرنا العمل في العمق على الرغم من كل ما يرافقه من نواقص على عمل يدعي شمولية لا بد من أن تأتي سطحية ووهمية. نشير أخيراً إلى أننا استدعينا من الضمانات والاحتياطات ما هو ممكن بشرياً خلال فترة القيام بهذا العمل بحيث أعيدت قراءة كل

فصل من قبل اختصاصيَّين اثنين آخرين من داخل لجنة المشاركين في التأليف أو من خارجها. ومن بين هؤلاء لا بد من أن أخص بالشكر ج. ڤيّامين (J. Vuillemin) وج. سيمون (G. Simon) وهـ. روكِت (H. Rouquette) وإ. پول (E. Poulle) وس. متّون (S. Matton) و س. هوزل (C. Houzel) وك. شملا (K. Chemla). وأخص أيضاً بالشكر أ. ڤون هوا (A. Von Hoa) وس. شميتز (C. Schmitz) وس. روزنبرغ (S. Rosenberg) وپاتي (Paty) وم. ريبوديير (M. Rebaudière) وب. دومو (B. Demaux) وس. بارب (C. Barbe) الذين نقلوا بعض الفصول إلى الفرنسية. وأتوجه بشكري أخيراً إلى السيدة أ. أوجيه (A. Auger) التي حضرت المخطوطات وأعدت الفهارس والمراجع.

كلمة لجنة الترجمة

لا بد للذين نقلوا هذا العمل إلى العربية من قول كلمة فيه. ولكننا لا نقولها تمشياً مع التقليد، بل تسجيلاً لملاحظات نسوقها باعتبارنا من أوائل قرائه.

نتمنى على القارىء أن يبدأ أولاً بالمقدمة العامة لرشدي راشد، ومن ثم بتعليق محسن مهدي. ويجوز أن نقرأ النهاية قبل صدر الكتاب؛ ذلك لأن العمل مجموعة من عدة مواضيع كتبت بشكل يسمح بقراءة غير متسلسلة، بما يشبه الأعمال الموسوعية.

وقد شجعنا على نقل هذا العمل بالذات تلك الأسماء التي شاركت في وضعه؛ وهي أسماء معروفة بمرجعيتها، من ميزاتها أنها لا تنتمي إلى مدرسة واحدة، بالإضافة إلى أنها تتوزع على أعرق الجامعات ومراكز الأبحاث المعروفة حالياً. لذا فإن صفة الموسوعية التي يتسم بها هذا العمل تأتي أيضاً من كونه يتناول مواضيع مختلفة بألوان فكرية وأساليب مختلفة.

لكن القارىء لن يجد فيه الأسلوب السردي المريح الذي تعوّد أن يجده في الموسوعات، أو الذي يجعل منه كتاباً يرافق الوسادة، ناعم المقاربة، سهل التتبع. إلا أنه، وبالمقابل، لا يتوجه فقط إلى الباحثين. والمتعة التي سيجنيها القارىء المتيقظ ستفوق، ولا شك، كمية الجهد والتركيز التي سيضطر إلى القيام بها.

إن الدراسات التي حواها هذا المؤلَّف، والتي تعدت إطار العموميات لتقدم آخر ما وصلت إليه الأبحاث التاريخية، لن تتمكن من الإجابة بشكل شافٍ عن أسئلة القارىء؛ ولن يكون بإمكانها ذلك مهما بلغ حجمه. ونظن أن هذا الفريق من المؤلفين سيكون قد نجح في أداء مهمته إذا ما استثار الكمية القصوى من أسئلة القارىء؛ والأجوبة موجودة ولا شك؛ ظاهرة أو كامنة، في المراجع المذكورة المؤلّفة حديثاً، أو في المخطوطات العديدة التي استندت إليها أبحاثهم. إن إثارة دوافع للبحث التاريخي، نقداً وإكمالاً وذهاباً إلى أبعد مما حواه هذا المؤلَّف، في السعة وفي العمق، هو أيضاً أحد الأهداف من وراء ترجمته، على أمل أن يكون ما نقوم به بداية، بالنسبة إلينا وإلى زملاء لنا أساتذة وطلاباً. نقول بداية، لا تناسياً لأعمال قيّمة متفرقة سبقت، بل لنؤكد ضرورة المتابعة. فالوعي لحاضر المجتمع شرط ضروري لاختيار المسالك التي تؤدي إلى لحاقه بالمسيرة العلمية للعالم؛ ولن يحصل هذا الوعي فقط من خلال دراسة تجارب وفلسفات علماء الغرب على الرغم من ضرورتها القصوى وقيمتها الهائلة. ونظن أن هذا الوعي يكون أعمق وأوضح وأدق إذا ما

اقترن بوعي لتاريخ، مجتمعنا الحاضر هو إلى حد بعيد امتداد له.

وهذا التاريخ ليس فقط الحلو من الكلام، والرقيق من الشعر، والسامي من المثل، والخارق من البطولة أو الصافي المخلص من الإيمان. إنه أيضاً، وبدرجة أساسية، القاسي من العلم، الصعب من الدرس والبحث، والمشع من المعرفة. لقد استقى أسلافنا العلم من الهند والصين إلى اليونان وأضافوه إلى إرث اليمن ومصر وأنطاكية وبلاد بابل، وترجموا وهضموا وطوروا واخترعوا بحيث أضحى علمهم علم العالم على امتداد سبعة قرون ولغتهم لغة علم العالم. ولا شك في أن من يسوق هذا الكلام افتخاراً واكتفاء أشد ضرراً ممن يسوقه حسرةً ويأساً بسبب حاضر يدفع إلى ذلك فعلاً. إلا أن دراسة هذا الجانب المشرق من التاريخ قد تشكل دعوة لتجنب اليأس ولثقة في مستقبل، كما قد تشكل فرصة للكشف عن مواضيع علمية لا زالت مؤهلة؛ ولنقل إن أقل ما ينتج عن هذه الدراسة هو استرجاع وتركيز القاموس والمصطلحات العلمية، أي الوعاء والخزان والأدوات التعبيرية التي يلزم اعدادها لاحتواء ما سيتلقنه المجتمع وما سينتجه. والحديث عن أدوات التعبير يدعونا هنا للاشارة إلى أن أياً من أعضاء الفريق المترجم لم يسبق له أن درس العلم أو قام بتدريسه بالعربية، لغته الأم؛ لذا لا بد من ملاحظة ما كان بالنسبة إلينا اكتشافاً في هذا المجال، ألا وهو غنى اللغة العربية الفعلي بالمصطلحات والتراكيب ومرونتها وإمكانية ضغطها، أفعالاً وحروفاً للتعبير بالدقة والاقتضاب المطلوبين عن القضايا العلمية. ولا بد من انعكاس سلبي لتجربة لنا حديثة في الكتابة العلمية بالعربية؛ إلا أننا نأمل التعويض عن الهفوات اللغوية بالمزيد من التدقيق في معاني الجمل العلمية.

ونقص آخر أكيد لا زال يحز في نفوسنا، هو ذلك المتعلق بالاستشهادات أو بعناوين الكتب أو بالأسماء، العربية في الأصل، التي تناولها المؤلف بالأجنبية، وكان علينا إعادة نقلها إلى العربية. ولقد استطعنا خلال عناء استهلك من الوقت أكثر مما استهلكت أعمال الترجمة أن نحصل على قسم كبير من هذه المعطيات كما صيغت في الأصل. وهنا لا بدّ من تسجيل الشكر للأب ريجيس مورلون الذي لم يبخل علينا بأي مساعدة في هذا المجال. إلا أن قسماً لا يستهان به استعصى، بحيث اضطررنا إلى «ترجمة بتصرف»، احتراماً لمواعيد الطباعة ولظروفها الملزمة. ومما زاد الصعوبة في هذا المجال وفاة خمسة من المؤلفين: أدولف ب. يوشكفيتش، دونالد هيل، هنري غروسّي - غرانج، أحمد سعيد سعيدان وجورج قنواتي؛ أضف إلى ذلك أن العديد من هذه الاستشهادات (والعناوين والأسماء) لم يأخذها مؤلفوها عن أصلها العربي إنما إجمالاً عن ترجمات لاتينية لهذا الأصل. نترك القارىء على رجاء أن نرى تاريخنا يُكتب بالعربية، ومن ثم يُترجم إلى باقي اللغات. كما نتركه على رجاء آخر هو أن يكتب إلينا بكل ما قد يفيد من نقد وإصلاح وملاحظات.

فريق القراءة في التراث العلمي

ملاحظات حول ترجمة القسم الفلكي من الموسوعة

لقد واجهنا في بداية ترجمة هذا القسم الخاص بتاريخ الفلك العربي مسألة اختيار المصطلحات الفلكية. وكما سيرى القارىء، في الفصل الأول من الموسوعة، أصبحت اللغة العلمية العربية متكاملة في النصف الثاني من القرن التاسع، حيث تكونت مصطلحاتها بشكل نهائي واستمر استخدامها خلال قرون عديدة. وهكذا نجد في المخطوطات العربية الخاصة بعلم الفلك المصطلحات الفلكية القديمة التي وُضعت في ذلك العصر، أي منذ أكثر من عشرة قرون. بعض هذه المصطلحات أصبح الآن غير مستخدم أو تغير مدلوله، والبعض الآخر ما زال صالحاً واحتفظ بالمدلول نفسه حتى اليوم. ولقد أدت المناقشات التي أجريت مع المؤلفَين الأب ريجيس مورلون والأستاذ جورج صليبا إلى الاتفاق في أكثر الأحيان على اختيار المصطلحات الملائمة لكل حالة.

وهكذا فإن كلمة كوكب استُخدمت لتدل على نجم أو كوكب بشكل عام، لأن العلماء الأقدمين لم يميزوا بين الكواكب والنجوم كما هي الحال في العصر الحديث.

لقد ورد اسم بطلِيموس، العالم الفلكي اليوناني، في المخطوطات العربية القديمة على شكل بطلَميوس، لأن لفظ هذه الكلمة الأخيرة أقرب إلى اللفظ اليوناني من لفظ الكلمة الأولى. وهذا ما يجعل تبني كلمة بطلَميوس أفضل من تبني كلمة بطلَيموس الشائعة حالياً لأسباب غير معروفة.

ولقد استخدمنا عبارة «حركة مستوية» بدلاً من عبارة «حركة منتظِمة» الشائعة حالياً نظراً لاستخدام العبارة الأولى في المخطوطات العربية القديمة.

أما عبارة «المستوي»، المستخدَمة حالياً للدلالة على «السطح المستوي» فلقد استخدمناها بدلاً من كلمة «السطح» التي وردت في المخطوطات العربية، والتي تستخدم حالياً بمعنى أشمل. وذلك لتجنب الالتباس بين «السطح المنحني» و«السطح المستوي». ولقد استخدمنا أيضاً كلمتي «الأوج» و«الحضيض»، بدلاً من العبارتين «البعد الأبعد» و«البعد الأقرب» اللتين وردتا في أوائل المخطوطات العربية.

ولم تكن هناك ضرورة، من ناحية أخرى، لتغيير عبارة «نقطة المحاذاة» التي ما زالت صالحة منذ القرن التاسع الميلادي. وكذلك هي الحال بالنسبة إلى عبارات «الانحراف» و«الالتواء» و«مبادرة الاعتدالين»، . . . الخ.

أما كلمة فلك فهي تدل بمعناها الحالي على مسار جسم سماوي، بينما كانت تدل على الكرة «التي تحرك هذا الجسم» بحركة مستوية حول محور يمر بمركز الكرة، كما كانت تدل أيضاً على دائرة التقاطع بين هذه الكرة والمستوي العمودي على المحور.

ويجب أن نذكّر بأن نجوم كل مجموعة من النجوم تُرتَّب تبعاً لعظمتها الظاهرية، أي تبعاً لمقدار النور الذي يصلنا منها. وتسمى هذه النجوم تبعاً لهذا الترتيب بأحرف الأبجدية. وهكذا نسمي النجم الأكثر إضاءة في مجموعة الدب الأصغر أ ـ الدب الأصغر، ويليه النجم ب في المرتبة الثانية ثم ج ود. . .

أما فصل «علم الملاحة العربي»، فقد طرأت ظروف قاهرة منعت من إتمامه بشكل نهائي من قبل المؤلف غروسّي ـ غرانج الذي توفي سنة ١٩٩٠. وكان هذا المؤلِّف بحاراً ماهراً ومطلعاً في الوقت نفسه على المخطوطات العربية التي زاد عددها على الأربعين والتي كتبها ابن ماجد والمهري قبل ما يقرب من خمسة قرون. ولذلك لم يتم الحصول على تفاصيل المراجع بشكل مرض، وصعُب التحقق من النصوص العربية الأصلية لبعض الاستشهادات التي قام بها المؤلف، فهي مبعثرة في المخطوطات العديدة التي يصعب الاطلاع عليها في وقت محدود. وهكذا اكتفينا، كلما تعذر الحصول على النص العربي الأصلي، بإعطاء مضمونه، استناداً إلى النص الفرنسي للمؤلف، دون أن نضعه بين هلالين مزدوجين.

ـ ١ ـ
مقدمة في علم الفلك

ريجيس مورلون(*)

كان الاهتمام بعلم الفلك متواصلاً في المنطقة الثقافية العربية منذ نهاية القرن الثاني الهجري، الثامن الميلادي؛ وأول ما يسترعي انتباه من يبدأ بالاهتمام بهذه المسألة هو الجانب الكمي: عدد العلماء الذين اشتغلوا في علم الفلك النظري، عدد المؤلفات التي كتبت في هذا الميدان، عدد المراصد الخاصة والعامة التي تتالت في نشاطها، وعدد الأرصاد الدقيقة التي سجلت ما بين القرنين التاسع والخامس عشر.

ستتعرض في هذا القسم كله لعلم الفلك كعلم صحيح فحسب من دون أن نثير مسألة التنجيم. وفي الواقع، إذا كان نفس المؤلفين قد وضعوا في بعض الأحيان كتباً في كلا الموضوعين، فإن هؤلاء لم يخلطوا أبداً في نفس الكتاب بين الاستدلالات الفلكية المحضة والاستدلالات التنجيمية المحضة، وكانت عناوين الكتب تدل في أكثر الأحيان من دون التباس على محتواها المتعلق بأحد الموضوعين.

يشار إلى الدراسات الفلكية، بشكل رئيس، بمصطلحين: «علم الفلك» أي «علم المدار السماوي»، و«علم الهيئة» أي «علم بنية الكون». بالإضافة إلى ذلك، يسمى العديد من الكتب الفلكية بـ «الزيج»، وهي كلمة فارسية الأصل ترادف كلمة «kanôn» اليونانية، وذلك عندما تتكون هذه الكتب من مجموعات جداول لحركات الكواكب، مقدّمة بعرض لرسوم تخطيطية تسمح بتركيبها؛ ولكن كلمة «زيج» تستعمل غالباً كمصطلح عام لتسمية

(*) باحث في المركز الوطني للبحث العلمي ـ باريس، ومدير المعهد الدومينيكي للدراسات الشرقية ـ القاهرة.

قام بترجمة هذا الفصل بدوي المبسوط.

مؤلفات الفلك الكبرى المحتوية على جداول[1].

كانت كلمة «كوكب»، «كواكب»، مستعملة في علم الفلك، في حين كانت كلمة «نجم»، «نجوم»، تُستعمل بنفس المعنى بمفهوم تنجيمي، واشتُقت منها تعابير: «علم أحكام النجوم»، «صناعة النجوم»، «التنجيم»، ...[2] ولكن عبارة «علم النجوم» استعملت لتشمل أيضاً علم الفلك والتنجيم معاً كنهجين مختلفين للدراسات الفلكية[3].

أما الآن، في العصر الحديث، فإن كلمة نجم أو نجمة تُستعمل للدلالة على جرم سماوي كبير مضيء بنفسه، بينما تدل كلمة كوكب على جسم سماوي سيّار، أصغر حجماً من النجمة، يدور حول نجمة ويتلقى منها النور. أما الأجسام الصغيرة التي تدور حول الكواكب فتسمى بالأقمار.

ولكننا، في هذه الدراسة التاريخية، سنستعمل كلمة كوكب، كواكب للدلالة على الأجرام السماوية بشكل عام، كما جرى التقليد على ذلك عند علماء الفلك القدامى.

وكانت توجد في شبه الجزيرة العربية وفي كل الشرق الأدنى القديم منذ زمن بعيد تقاليد في رصد السماء؛ أحد هذه التقاليد جدير بالذكر لأننا نعرفه جيداً، إذ إنه اقتُبس بعد ذلك فيما سماه الفلكيون العرب: «الكتب في الأنواء».

ترمز كلمة أنواء، ومفردها نَوْء، إلى مجموعة لنظام حساب الأعياد المتعلق برصد البزوغات الشروقية والأفولات الشروقية لبعض مجموعات من الكواكب، مما يسمح بتقسيم السنة الشمسية إلى فترات محددة. وكان ظهور بعض الكواكب على الأفق حسب فترات

---

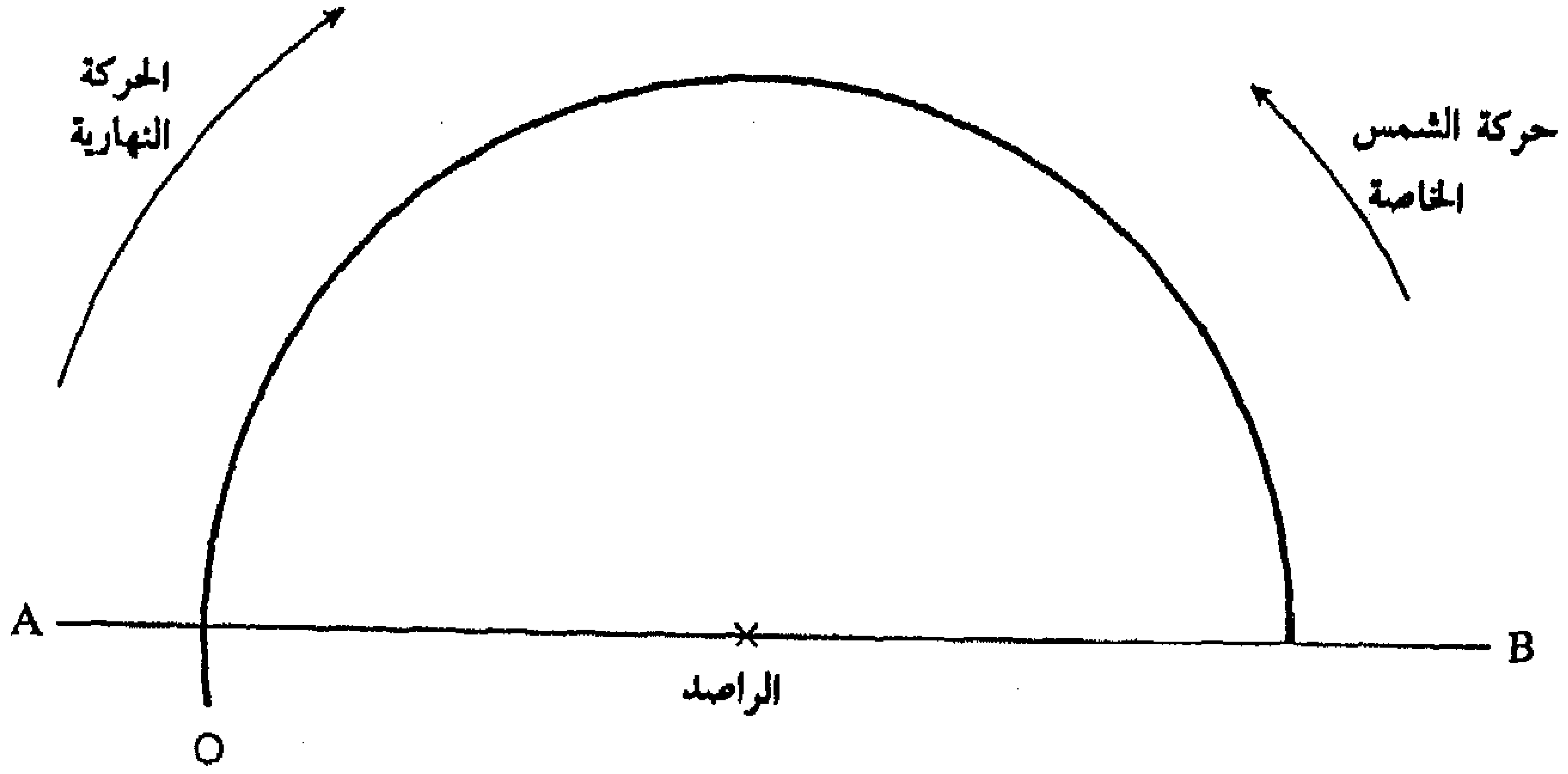
(١) انظر مثلاً كتاب البتاني المهم: Albategnius, *Al-Battānī, sive Albatenii Opus Astronomicum (al-Zīj al-Ṣābī')*, édition du texte arabe, traduction latine et commentaire par Carolo Alphonso Nallino, Publicazioni del Reale osservatorio di Brera in Milano, I-III, 3 vols. (Milano: Mediolani Insubrum, Prostat apud U. Hoeplium, 1899-1907), réimprimé en 1 vol. (Hildesheim; New York: G. Olms, 1977),

أو: أبو الريحان محمد بن أحمد البيروني، القانون المسعودي، صحح عن النسخ القديمة الموجودة في المكاتب الشهيرة، تحت إعانة وزارة معارف الحكومة العالية الهندية، ٣ ج (حيدر آباد الدكن: مطبعة مجلس دائرة المعارف العثمانية، ١٩٥٤ ـ ١٩٥٦)، حيث تستعمل اللفظة اليونانية، وهما مذكوران في الفصل القادم.

(٢) انظر مقالة رشدي راشد حول كلمة «منجم» في: Diophante, *Les Arithmétiques*, vols. 3 et 4, édition et traduction du texte arabe par Roshdi Rashed, collection des universités de France (Paris: Les Belles lettres, 1984), vol. 3, pp. 99 - 102.

(٣) انظر مثلاً: Abū 'Abd Allāh Muḥammad Ibn Aḥmad al-Kuwārizmī, *Liber mafātīh ol-olūm, explicans vocabula technica scientiarum tam arabum quam peregrinorum, auctore Abū Abdallah Mohammed Ibn Ahmed Ibn Jūsof al-Kātib al-Khowarezmi*, edidit et indices adjecit G. Van Vloten (Lugduni - Batavorum: E. J. Brill, 1895), réimprimé (Leiden: E. J. Brill, 1968), p. 210.

السنة، يُعتبر منبئًا بظواهر مناخية لتغير الطقس، حتى ان كلمة نوء أخذت معنى المطر أو العاصفة. ولنذكّر بسرعة بما يعنى بالبزوغات والأفولات الشروقية للكواكب الثابتة على الشكل رقم (١ ـ ١) الذي هو مسقط تقريبي على المتسامتة الأولى لمسار الشمس الظاهري. فالخط AB هو أثر أفق المكان، والنقطة O هي موضع الشمس تحت الأفق قبل شروقها، بحيث يكون الكوكب الموجود في النقطة A والقريب من فلك البروج، على حد قابلية الرؤية عندما يبزغ، ويكون الكوكب الموجود في النقطة B على حد قابلية الرؤية عندما يأفل، تبعاً لضيائية السماء على الأفق تماماً قبل شروق الشمس. في هذه الحالة، يكون الكوكب A في وضع البزوغ الشروقي ويكون الكوكب B في وضع الأفول الشروقي. وفي اليوم التالي، وبسبب «الحركة الخاصة الظاهرية للشمس» (حوالى درجة واحدة يومياً)، تكون الشمس أكثر بعداً عن الأفق، عندما يكون الكوكبان A وB في نفس الوضع، ويصبح هذان الكوكبان أوضح رؤية لأن الأفق يصبح أقل إضاءة. وبعد ستة أشهر تقريباً، يتبادل A وB وضعَيهما فيصبح B في حالة بزوغ شروقي ويصبح A في حالة أفول شروقي.



الشكل رقم (١ ـ ١)

كانت مراقبة هذه الظواهر لمجموعات معينة من الكواكب، تسمح، في البدء، بتقسيم السنة الشمسية إلى فترات محددة عددها ثمانٍ وعشرون على الأرجح. وقد اندمج نظام حساب الأعياد هذا، بعد القرن الثامن وتحت تأثير تقاليد فلكيةٍ هنديةٍ، مع نظام «منازل القمر» الثمانية والعشرين، وهي مجموعات من الكواكب الثابتة القريبة من فلك البروج، تفصل بين مناطق السماء التي يوجد فيها القمر بالتتابع ليلة بعد ليلة في غضون الشهر القمري. إن مؤلّفات **الأنواء** التي كُتبت ابتداء من القرن التاسع، هي عبارة عن تقاويم تعطي أوقات البزوغ والأفول لكواكب منازل القمر، مع الظواهر المناخية المتعلقة بها.

وهكذا تنقسم السنة إلى ثمانٍ وعشرين فترة من ثلاثة عشر أو أربعة عشر يوماً[٤].

لقد أعاد الفلكيون العرب الأخذ بهذا التقليد القديم الذي كان في الأصل تجريبياً، على مستوى علمي في نطاق دراساتهم لظهور واختفاء الكواكب على الأفق إبان الغسق والسحر، متخذين جزئياً كقاعدة للعمل، **كتاب في ظهور الكواكب الثابتة** لبطلميوس التي سيجري الحديث عنه لاحقاً[٥].

أولاً: مصادر علم الفلك العربي

كانت نصوص علم الفلك الأولى المترجمة إلى اللغة العربية في القرن الثامن، من أصل هندي وفارسي. ولكن المصادر اليونانية تقدمت في القرن التاسع على المصادر السابقة. فلنستعرض كل هذه المصادر، بادئين بالنصوص اليونانية.

١ ـ المصادر اليونانية

إنها من نوعين: علم الفلك «الفيزيائي»، بالمعنى القديم للكلمة، وعلم الفلك الرياضي.

يهتم علم الفلك «الفيزيائي» بالبحث عن تصور مادي كلي للكون انطلاقاً من تفكير نوعي بحت. إن تأثير أرسطو هو المهيمن في هذا المجال، بتنظيمه المتماسك للعالم على شكل كرات مماسة ومتراكزة، ومدرّجة حول الأرض الثابتة التي هي مركزها المشترك. الكرة السماوية الأولى هي كرة القمر، وعالم ما تحت القمر هو عالم الكون والفساد. أما عالم ما فوق القمر فهو عالم الاستمرار والحركة الدائرية المستوية التي هي الوحيدة القادرة على التكيف مع كمال طبيعة الأجرام السماوية. ولكل كوكب كرته الخاصة التي تحركه. والكرة الأخيرة التي تحيط بالكون هي كرة الكواكب الثابتة.

يهتم علم الفلك «الرياضي» بالبحث عن تصور هندسي نظري بحت للكون، مستند

---

(٤) انظر في الأنواء: كارلو ألفونسو نالينو، **علم الفلك: تاريخه عند العرب في القرون الوسطى** (روما: مطبعة روما، ١٩١١)، ص ١١٧ ـ ١٤٠ (المحاضرتان ١٨ و١٩)، و *Encyclopédie de l'Islam,* 6 vols. parus, 2ème éd. (Leiden: E. J. Brill, 1960-), vol. 1, pp. 538 - 540.

وفي منازل القمر، انظر: *Encyclopédie de l'Islam,* vol. 6, pp. 358 - 360.

(٥) قام بذلك، على الأخص، سنان بن ثابت بن قرة (المتوفى سنة ٣٣١ هـ/ ٩٤٣ م) الذي اقتبس في مؤلفه **كتاب الأنواء** قسماً من الكتاب الثاني من مؤلّف بطلميوس **كتاب في ظهور الكواكب الثابتة**، انظر: Otto Neugebauer, «An Arabic Version of Ptolemy's Parapegma from the *Phaseis,*» *Journal of the American Oriental Society,* vol. 91, no. 4 (1971), p. 506.

على أرصاد مرقمة دقيقة، بغض النظر عن تلاؤمه مع تماسك العالم «الفيزيائي». إن هدفه هو إيجاد نماذج هندسية وسوطة (أي قابلة للتحديد بواسطة عدد من المقادير)، قادرة على تحليل الظواهر السماوية المقاسة، وعلى حساب مكان الكواكب في لحظة معطاة، وعلى وضع جداول حركاتها.

لقد بني تاريخ علم الفلك القديم جزئياً على التنافس بين هذين المنهجين لنفس العلم.

تطور علم الفلك الرياضي في إطار علم الفلك الهلينستي، وخاصة حوالى مئة وخمسين سنة قبل الميلاد، مع إبرَخس الذي اقتبس عمل أبولونيوس الذي سبقه بنصف قرن. وجاءت أعمال بطلميوس لتتوج ما كتب فيه باللغة اليونانية حوالى مئة وخمسين سنة بعد الميلاد.

بطلميوس هو العالم الذي كانت مؤلفاته أكثر معالجة واقتباساً وشرحاً ونقداً من قِبَل الفلكيين اللاحقين به حتى القرن السابع عشر. لقد ألف كتبه الأربعة بالترتيب: **المجسطي**، **في اقتصاص أصول حركات الكواكب**، **في ظهور الكواكب الثابتة**، **وزيج بطلميوس**. إلا أن الكتابين الأولين هما الأكثر أهمية.

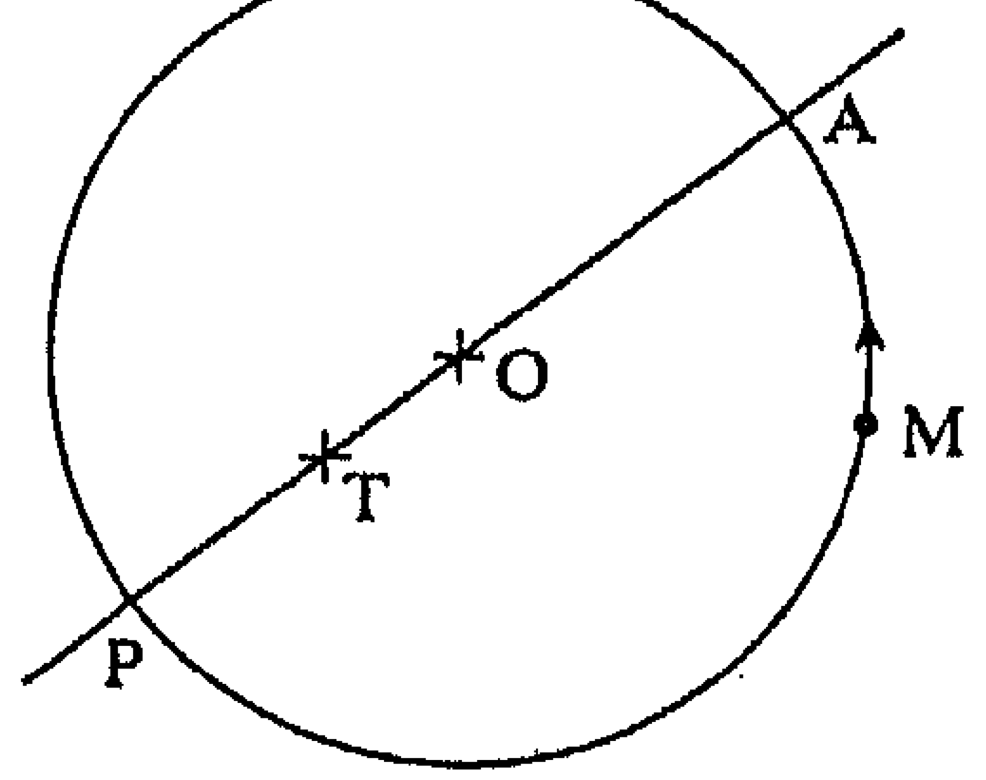
يُعتبر **المجسطي** أو **المؤلّف الرياضي الكبير**، الذي وصلنا في لغته الأصلية وفي عدة ترجمات عربية، المرجع النموذجي الذي لعب في علم الفلك نفس الدور الذي لعبه كتاب **الأصول** لإقليدس في الرياضيات. لنذكّر ببساطة أنه مؤلّف هائل من ثلاث عشرة مقالة عرض فيه بطلميوس، بشكل شامل، أعمال سابقيه مغيّراً فيها حسب ملاحظاته الخاصة، مهذِّباً النماذج الهندسية القديمة ومستنبطاً منها نماذج أخرى. إن كلمة الرياضيات لا توجد صدفة في عنوان المؤلف لأن بطلميوس لا يشير فيه إلى الحالة «الفيزيائية» للكون إلا قليلاً، ولو أنه قد أخذها ضمنياً بعين الاعتبار؛ لقد أثبت وفصل الطرق الهندسية التي تمكّن من تحليل الظواهر المراقبة معتمداً على مصادَرَتي علم الفلك القديم: الأرض ثابتة في مركز الكون، وكل حركة سماوية يجب أن تفسَّر بتركيب حركات دائرية منتظمة.

يعرف بطلميوس طريقته كما يلي: أ ـ تجميع أكبر عدد ممكن من الأرصاد الدقيقة؛ ب ـ تمييز كل اختلاف للحركة المراقبة عن الحركة الدائرية المستوية؛ ج ـ إيجادٌ بالتجربة، للقوانين التي تسمح برؤية كيفية تركيب الأدوار ومقادير الاختلافات الآنفة الذكر؛ د ـ تركيب حركات دائرية مستوية بواسطة دوائر متراكزة أو مختلفة المراكز، أو بواسطة أفلاك التدوير، لتحليل الظواهر المرصودة؛ هـ ـ حساب وسائط هذه الحركات للتمكن من تركيب جداول تسمح بحساب مواضع هذه الكواكب.

إن طريقة بطلميوس محدَّدة بشكل دقيق جداً، ولكن رغبته في «إنقاذ الظواهر» تقوده عملياً إلى إضعاف شأن مبادئه الأساسية، إذ إنه يُدخِل بعض التجريبية على عدد من براهينه. وهو يعترف بذلك في آخر مقالة من هذا المؤلَّف إذ يقول: «يجب أن يبذل كل

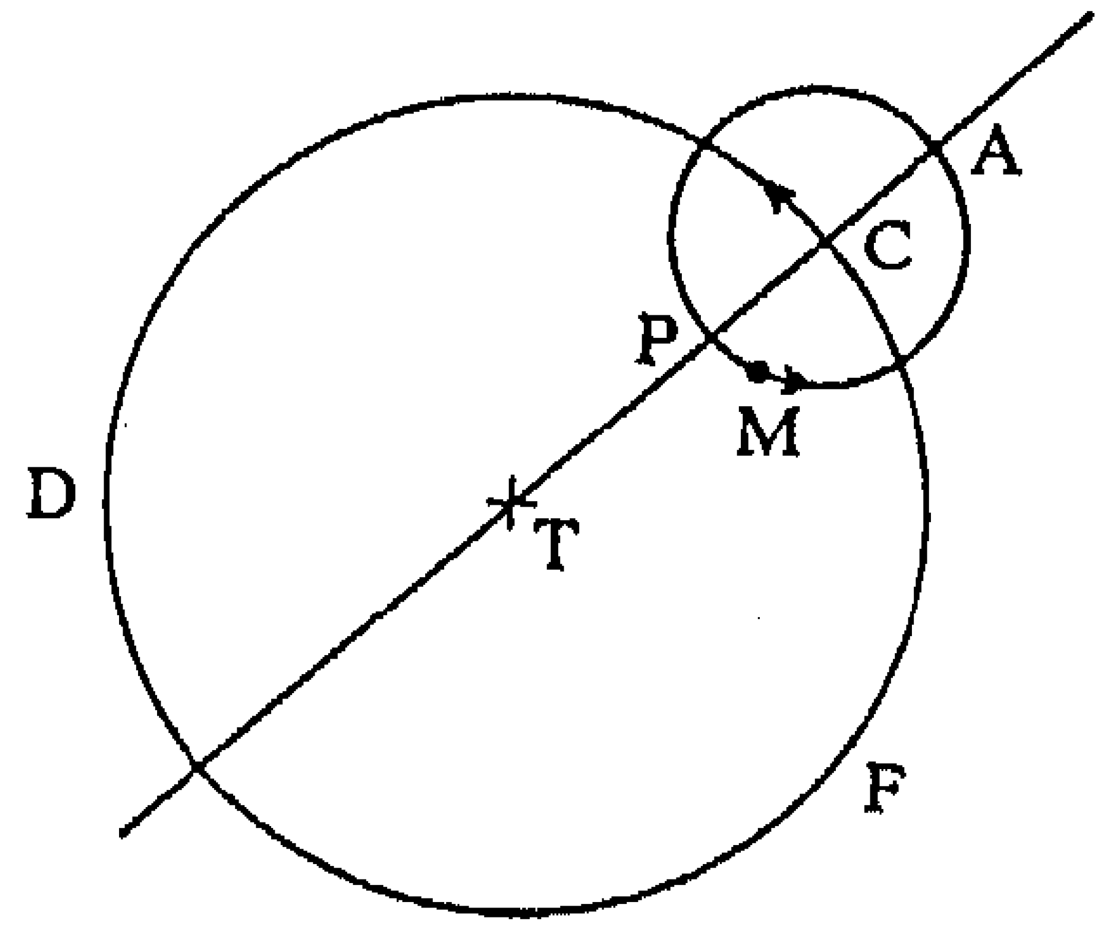
شخص جهده ليطابق الفرضيات الأكثر بساطة مع الحركات السماوية. وإذا تعذر ذلك، وجب عليه الأخذ بفرضيات تتكيف مع الوقائع».

إن قاعدة بحثه عن نماذج هندسية هي تلك التي طورها إبرَخس الذي اتبع أبولونيوس عندما شيد نظام أفلاك التدوير ونظام الدوائر الخارجة المراكز (عن مركز العالَم).



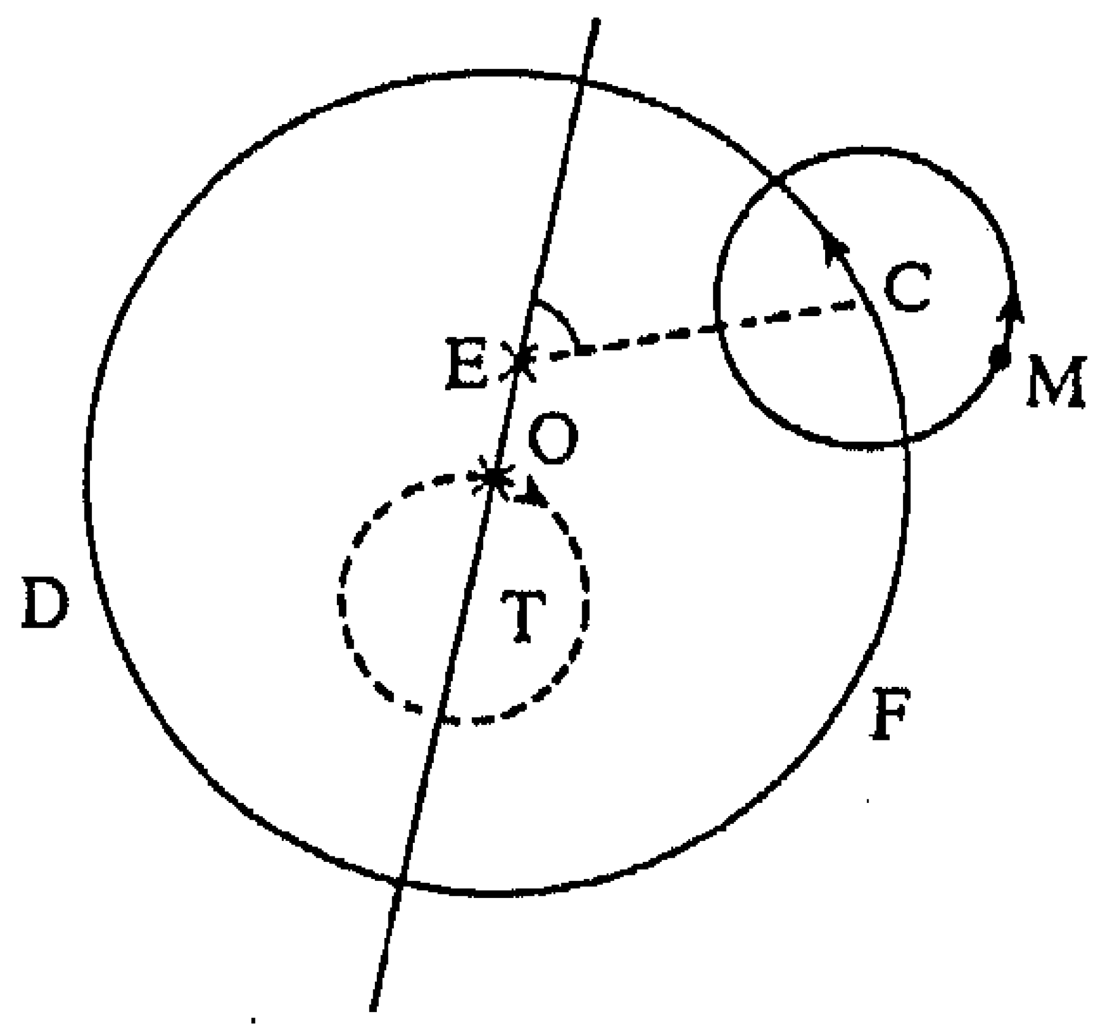
الشكل رقم (١ ـ ٢أ)

لنأخذ نظام الدائرة البسيطة الخارجة المركز في الشكل رقم (١ ـ ٢أ). لتكن الأرض الثابتة في النقطة T حيث يوجد الراصد. يتحرك الكوكب M على الدائرة MAP بحركة دائرية مستوية حول المركز O، ولكن الراصد يكتشف أن سرعة الكوكب الظاهرية في الأوج A مغايرة لسرعته في الحضيض P. هذه هي الهيئة الهندسية التي يمكن إستخدامها لتحليل حركة الشمس الظاهرية.



الشكل رقم (١ ـ ٢ب)

لنأخذ نظام فلك التدوير البسيط في الشكل رقم (١ ـ ٢ب). لنتصور الراصد في النقطة T التي هي مركز الدائرة الحاملة (المسماة دائرة بطلميوس) CDF. يتحرك الكوكب M على دائرة صغيرة، تسمى فلك التدوير، ومركزها C، يتحرك على دائرة بطلميوس بحركة مستوية. وتكون حركة الكوكب M دائرية مستوية. كما أن السرعة الزاوية للمركز C مطابقة للحركة الوسطى للكوكب M. يمكن أن يفسر هذا النظام، كنظام الفلك الخارج المركز، تغير المسافة بين الكوكب M والأرض. ولكنه يمكن خاصة من تحليل الرجوع الظاهري للكواكب، بطريقة أكثر إقناعاً مما يسمح به النظام الصرف للكرات المادية المتراكزة: عندما يوجد الكوكب في النقطة P، وتكون سرعته الزاوية الظاهرية على فلك التدوير أكبر من



الشكل رقم (١ ـ ٢ج)

سرعة C الزاوية، تكون حركته الظاهرية تراجعية. وبالمقابل، عندما يوجد الكوكب في النقطة A تُجمع هاتان السرعتان، فيظهر للراصد الموجود في النقطة T أن سرعة الكوكب M أكبر من سرعة C.

إن نظام فلك التدوير هذا مَرِن جداً، ويتلاءم مع تركيب أكثر تعقيداً لعناصره المكونة: يمكن اعتبار دائرة بطلميوس CDF خارجة المركز بالنسبة الى الأرض (الشكل رقم (١ - ٢ج))، أو متحركة هي الأخرى بحركة دائرية حول T. وهكذا يمكن الوصول إلى هيئات معقدة جداً كهيئة القمر أو كهيئة عطارد؛ أما بخصوص الكواكب العليا (المريخ، المشتري، وزحل)، فإن بطلميوس يأخذ حاملة خارجة المركز CDF مركزها في النقطة O، ويترك الراصد في النقطة T ولكنه يؤكد أن انتظام حركة المركز لا يحدث حول O بل حول نقطة «معدِّل المسير» E بحيث تكون O في وسط TE. إن هذه الحيلة تسمح بوفاق أفضل بين الهيئة النظرية والأرصاد، ولكنها متناقضة مع المبدأ الأساسي للحركة الدائرية المستوية(٦).

وهكذا يمكن تحديد وضع مختلف الكواكب في السماء، إذ يكفي أن نحسب، استناداً على الأرصاد، مختلف الوسائط الداخلة في القضية: الانحراف عن المركز، الأطوال النسبية لأنصاف الأقطار، والسرعات الزاوية لمختلف الدوائر.

لقد وصلنا **كتاب الاقتصاص** جزئياً (أقل من ربعه بقليل) باللغة اليونانية، ولكن له ترجمة كاملة باللغة العربية(٧). إنه أصغر بكثير من كتاب **المجسطي** وأسلوبه العام مختلف جداً عن أسلوب الكتاب الأخير. يحسب فيه بطلميوس أولاً المسافات القصوى والدنيا للكواكب تبعاً لمعطيات **المجسطي**، فيقسم الكون إلى مناطق متراكزة، كل واحدة منها تمثّل المكان الذي يمكن أن يتحرك فيه كوكب معين، واضعاً تحت كرة القمر، كما فعل

(٦) انظر: Otto Neugebauer, *The Exact Sciences in Antiquity*, 2nd ed. (New York: Dover Publications, 1957), appendix 1; traduction française par P. Souffrin, *Les Sciences exactes dans l'antiquité* (Arles: Actes Sud, 1990), pp. 239 - 255,

حيث يوجد عرض سريع ودقيق لهيئات الكواكب الهندسية التي اقترحها بطلميوس.

(٧) انظر: Claudius Ptolemaues, *Le Livre des hypothèses:* traduction française par N. Halma de la première partie du livre I: *Hypothèses et époques des planètes de Cl. Ptolémée* (Paris: Merlin, 1820), et édition du texte grec de la première partie du livre I et traduction de l'allemand sur l'arabe du livre II par L. Nix, *Claudii Ptolemæi Opera quæ extant omnia,* vol. II: *Opera Astronomica minora* (Leipzig: Teubner, 1907), pp. 68 - 145, et Bernard Raphael Goldstein, «The Arabic Version of Ptolemy's *Planetary Hypotheses,*» reproduction of the entire arabic manuscript, which contains the second part of book I, and a partial english translation, *Transactions of the American Philosophical Society* (N.S.), vol. 57, part 4 (1967), pp. 3 - 55.

لقد قمت بنفسي بنشر النسخة العربية لهذا النص، التي ستكون قريباً تحت الطبع.

أرسطو، كرات النار والهواء والماء والأرض. بعد ذلك لا تعود وجهة نظره «رياضية» بل «فيزيائية» بالمعنى الأرسطي للكلمة، إذ يسعى لوصف أشكال الأجسام المادية التي يمكن أن نتصور في داخلها الدوائر التي تسمح بتحليل مختلف الحركات، وذلك لإبانة تركيب الكون الفيزيائي الحقيقي. فيقسم «الأثير» إلى كرات سميكة بعضها مماس مع البعض الآخر، وهذا ما يذكّر بالنظام الأرسطي للكرات الوحيدة المركز. ولكن بطلميوس يتصور أيضاً كرات مختلفة المراكز، ويضيف إليها إطارات مندمجة مع أقراص. وهذا ما أدى إلى نوع من التسوية الشديدة التعقيد بين نظام هندسي بحت ونظام مادي متماسك مماثل للنظام الذي عرّفه أرسطو. وهكذا حاول بطلميوس أن يجسد نظريته في نظام «فيزيائي» ملموس، ولكن تأثير كتاب **الاقتصاص** كان أقل من تأثير **المجسطي**، فيما عدا حسابه لمسافات وأبعاد الكواكب الذي لاقى قبولاً واسعاً لدى الفلكيين اللاحقين.

يبحث كتاب **في ظهور الكواكب الثابتة** موضوع ظهور واختفاء الكواكب الثابتة تماماً قبل شروق الشمس أو تماماً بعد غروبها (البزوغ الشروقي والغروبي والأفول الشروقي والغروبي). ويتألف من قسمين، حفظ منهما القسم الثاني فقط باللغة اليونانية، وهو يحتوي على تقويم لظهور واختفاء النجوم على الأفق في خلال السنة؛ أما القسم الأول الذي يحتوي على تحليل نظري بَحْت لهذه الظاهرة الخاصة، فلم يعرف إلا بنص عربي[٨].

لقد نقل كتاب **زيج بطلميوس** باليونانية في النشرة التي أخرجها ثيون الاسكندري في القرن الرابع الميلادي ضمن كتابه **شرح زيج بطلميوس**. يستعيد بطلميوس في هذا الكتاب، بشكل عملي، بعض نتائج **المجسطي** النظرية، مشكلاً جداول مفصلة ومغيّراً بعض الوسائط تبعاً لنتائج كتاب **الاقتصاص** وكتاب **في ظهور الكواكب الثابتة**. لقد ذُكرت كل هذه المؤلَّفات من قِبَل الفلكيين العرب منذ القرن التاسع، وكذلك شروح **المجسطي** التي ألّفها بابوس وثيون الاسكندري، بالإضافة إلى سلسلة من الكتب اليونانية معروفة تحت اسم **المجموعة الفلكية الصغيرة** لأنها كانت تُعتبر كمقدمة لقراءة **المجسطي**. وهي تضم: **المعطيات**، **البصريات**، **علم انعكاس الضوء** و**الظواهر** لإقليدس[٩]؛ **الأكر**، **المساكن**، وكتاب **الأيام والليالي** لثاودوسيوس[١٠]؛ **الكرة المتحركة**، وكتاب **الطلوع والغروب للنجوم**

---

(٨) لقد عثر على شرح لمحتوى هذا الكتاب في مقطع من كتاب: البيروني، **القانون المسعودي**. انظر: Régis Morelon, «Fragment arabe du premier livre du *Phaseis* de Ptolémée,» *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 5, nos. 1 - 2 (1981), pp. 3 - 14.

(٩) عاش إقليدس في حوالى ٣٠٠ قبل الميلاد، كتابه **المعطيات** يحوي التعاريف المختلفة الداخلة في الهندسة. كتابه **البصريات** يحوي تفصيلاً لنظرية الرؤية والمنظورية. كتابه **علم انعكاس الضوء** هو دراسة للمرايا. أما كتابه **الظواهر** فيحوي دراسة هندسية للكرة السماوية.

(١٠) عاش ثاودوسيوس في القرن الثاني قبل الميلاد، وقد عالج في كتابه **الأكر** موضوع هندسة الكرة، وبين في **المساكن** مناطق الكرة السماوية المرئية من مختلف مناطق الأرض، وحدد في **الأيام والليالي** أقسام فلك البروج التي تقطعها الشمس كل يوم على طول السنة.

لأوطوليكوس[11]؛ كتاب **الجرمَين النيِّرين وبُعديهما** لأرسطرخس[12]؛ كتاب **المطالع** لإبسقلوس[13]؛ **الأكر** لمنلاوس[14].

٢ ـ المصادر الهندية والفارسية

ذكر العلماء العرب الذين ينتسبون إلى الجيل الأول، ثلاثة نصوص هندية في علم الفلك: **اريبهاتية**، الذي ألّفه أريبهاتا سنة ٤٩٩، وذكره المؤلفون العرب باسم **الأرجبهر**؛ **خندخدياكا** الذي ألّفه براهماغوبتا (ت بعد سنة ٦٦٥) والذي ذُكر بالعربية باسم **زيج الأركند**؛ **المهاسدنتا** الذي ألّف في أواخر القرن السابع أو بداية القرن الثامن، وقد نقل إلى العربية باسم **زيج السندهند**[15]. تستند هذه النصوص، حسب علم الكونيات الهندي، على أدوار السنين، وتقليدها العلمي يرتبط بعلم الفلك الهلينستي في مرحلة سابقة لعصر بطلميوس. لذلك هي تحتفظ ببعض الأصول التي يمكن إرجاعها إلى عصر إبرخس. نحن نجد فيها قليلاً من العروض النظرية. إلا أنها تتضمن طرائق حسابية لوضع الجداول، والعديد من وسائط حركات الكواكب. إن الابتكار العلمي للعلماء الهنود في هذا الميدان هو إدخال الجيب (نصف وتر القوس المضاعَف) في حسابات المثلثات، وهذا ما يجعلها أقل ثقلاً من حسابات المثلثات في علم الفلك اليوناني حيث كانت تستخدم أوتار الأقواس منذ عهد إبرخس[16].

شهدت بلاد الفرس في عهد الساسانيين (٢٢٦ ـ ٦٥١م) تطوراً لحركة الفلك العلمي

---

(١١) عاش أوطوليكوس في القرن الثالث قبل الميلاد، لقد وصف في **الكرة المتحركة** مختلف دوائر الكرة السماوية والتغيير في أوضاعها المسبّب بحركات هذه الكرة، أما في **الطلوع والغروب للنجوم** فقد وصف ظاهرات قابلية رؤية الكواكب على الأفق عند طلوعها وغروبها.

(١٢) عاش أرسطرخس في القرن الثالث قبل الميلاد، وهو مشهور لأنه اقترح فرضية مركزية الشمس، لقد حسب في كتابه **الجرمين النيّرين وبعديهما** مسافة الشمس والقمر إلى الأرض، وأبعادهما، منطلقاً من استدلالات على وضعهما التربيعي وعلى الكسوف.

(١٣) عاش إبسقلوس في حوالى سنة ١٥٠ قبل الميلاد، وقد حدد، في كتاب **المطالع**، لكل مكان معين، شروق مختلف البروج تبعاً للنسبة بين أطولْ مدة للنهار وأقصرها في ذلك المكان.

(١٤) عاش منلاوس في القرن الأول الميلادي، يحتوي كتابه **الأكر** على الصيغ الأساسية للمثلثات الكروية التي استعملها بطلميوس، في ما بعد، في **المجسطي**، مُدخلاً معادلات بين أوتار الأقواس في رباعي أضلاع كروي كامل. انظر: الفصل الخامس عشر: «علم المثلثات: من الهندسة الى علم المثلثات،» ضمن الجزء الثاني من هذه الموسوعة.

(١٥) انـظـر: ʻAli Ibn Sulaymān al-Hāshimī, *The Book of the Reasons behind Astronomical Tables = Kitāb fī ʻilal al-zījāt*, reproduction of the unique arabic text contained in the Bodleian ms. arch. Seld A. 11, with a translation by Fuad I. Haddad and E. S. Kennedy and a commentary by David Pingree and E. S. Kennedy, Studies in Islamic Philosophy and Science (Delmar, N. Y.: Scholar's Facsimiles and Reprints, 1981), pp. 201 - 211.

(١٦) انظر الفصل الخامس عشر من الجزء الثاني من هذه الموسوعة والمشار إليه في الهامش رقم (١٤) أعلاه.

باللغة البهلوية بتأثير مزدوج هندي ويوناني (ترجم كتاب بطلميوس المجسطي إلى اللغة البهلوية في القرن الثالث). كان هذا العمل موجهاً، على ما يظهر، نحو التنجيم بشكل خاص. والآثار الباقية منه توجد، ابتداءً من نهاية القرن الثامن، في نصوص عربية أشير فيها خاصة إلى كتاب **زيج الشاه**. وتذكر هذه النصوص أن هذا الكتاب قد دون عدة مرات متتالية: في سنة ٤٥٠م، ٥٥٦م و٦٣٠م، أو ٦٤٠م (في عهد يزدجرد الثالث). ولقد ارتبطت هذه الجداول، بوسائط هندية على الأخص[١٧].

سنفصِّل في الفصول التالية كيف استخدم الفلكيون العرب هذه المصادر المختلفة.

ثانياً: الأرصاد والمراصد

سنقوم الآن بعرض سريع للمراصد وللآلات الكبيرة الحجم[١٨]. يروي ابن يونس أن النهاوندي (المتوفى سنة ١٧٤ هـ/ ٧٩٠م) قد قام بأرصاد في أواخر القرن الثامن في جنديسابور، ولكن أعماله قد ضاعت[١٩]. وقد سجلت أولى النتائج الدقيقة المنقولة للأرصاد، في حي الشماسية ببغداد أولاً، ثم على جبل قاسيون في دمشق، في السنوات الأخيرة من خلافة المأمون (٨١٣ ـ ٨٣٣) وبدفع منه. وقد تمت هذه الأرصاد طبقاً لبرنامج دقيق يهتم بالشمس والقمر على الأخص. وقد جرى في دمشق رصد متواصل للشمس خلال سنة كاملة، في الفترة ٢١٦ ـ ٢١٧/ ٨٣١ ـ ٨٣٢. ولم تتم متابعة العمل، على ما يبدو، في هذين المكانين بعد وفاة المأمون.

ونحن، باستثناء النتائج المرقمة التي نجدها في النصوص اللاحقة، لا نعرف إلا القليل عن هذين المرصدين، وعن نشاطهما وحجمهما؛ لقد كان يحيى بن أبي منصور، المسؤول عن أعمال الرصد في بغداد، عضواً في بيت الحكمة المشهور، وقد طلب الخليفة نفسه أن تكون الآلات المستعملة على أعلى قدر من الدقة. وليست هناك أية إشارة واضحة إلى الآلات

---

(١٧) انظر: «Astrology and Astronomy in Iran,» in: *Encyclopedia Iranica,* edited by Ehsan Yarshater (London: Routledge and Kegan Paul, 1986-1987), vol. 2, pp. 858-871, and Edward Stewart Kennedy, «The Sasanian Astronomical Handbook *Zīj-i Shāh* and the Astrological Doctrine of «Transit» *(Mamarr),» Journal of the American Oriental Society,* vol. 78 (1958), pp. 246-262.

(١٨) في مسألة المراصد، انظر: Aydin Mehmed Sayili, *The Observatory in Islam and Its Place in the General History of the Observatory,* Publications of the Turkish Historical Society; ser. 7, no. 38 (Ankara: Türk Tarih Kurumu Basimevi, 1960).

(١٩) انظر: Ibn Yūnus, *Le Livre de la grande table hakémite,* partiellement éditée et traduite en français par Caussin, édition séparée des «Notices et extraits des manuscrits de la bibliothèque nationale» (Paris: Imprimerie de la République, an XII (1804)).

المستعملة هناك. ولكن الشكل الذي عرضت فيه النتائج مقتبس عن بطلميوس، وكذلك نماذج الأرصاد المنجزة؛ مما يدل على أن الآلات كانت مشابهة للآلات الموصوفة في **المجسطي**: الحلقة الاستوائية أو الاعتدالية، الحلقة الزوالية، الربعية الاستوائية، مساطر اختلاف المنظر، الشواخص الكبيرة، كاسرة إبرخس لقياس الأقطار الظاهرية، والكرة المحلّقة(٢٠). وكانت هذه الآلات تقليدية في علم الفلك القديم. وقد سعى العلماء العرب إلى تحسينها شيئاً فشيئاً، هادفين، على الأخص، إلى بناء حلقات ذات كبر متزايد للحصول على دقة أفضل(٢١).

وقد سُجلت خلال القرن التاسع أرصاد أخرى تابعة للمجموعة الأولى التي أجريت في بغداد ودمشق، قام بها حبش الحاسب، بنو موسى، الماهاني، سنان بن ثابت، . . . الخ. وفي أكثر الحالات كان يشار فقط الى المكان الذي أجريت فيه الأرصاد: بغداد، دمشق، سامراء، أو نيسابور مثلاً، دون الإشارة إلى الإطار الذي تم فيه أجراؤها، وهذا ما يدل على أن المراصد كانت خاصة، دون أية بنية جماعية.

لم يتم، في ذلك الوقت، تجميع كل هذه الأرصاد بشكل نظامي. ولكن، على سبيل المقارنة، يمكن أن نلاحظ أن بطلميوس قد بنى كل عمله في **المجسطي** على ٩٤ رصداً أجريت ما بين سنة ٧٢٠ ق.م. وسنة ١٤١م، أقدمها سُجّل في بابل، وأحدثها، وعدده ٣٥، أجري من قِبَل بطلميوس نفسه(٢٢). وهكذا يمكن أن ندرك بشكل بديهي أن علماء الفلك العرب قد وجدوا تحت تصرفهم نتائج أرصاد حديثة أكثر عدداً من تلك التي اعتمد عليها بطلميوس في أعماله.

كان البتاني من أكبر راصدي الفترة الأولى من تاريخ علم الفلك العربي، عند ملتقى القرنين التاسع والعاشر. وقد تابع برنامجاً منظّماً للأرصاد، طيلة ثلاثين عاماً، في مدينة الرقّة الواقعة في شمال سوريا حالياً. وهو الذي نجد عنده، وللمرة الأولى على ما يبدو، إشارة إلى «أنابيب الرصد» في كتاب لعلم الفلك ذي تقليد عربي يوناني، وذلك في سياق البحث عن أول هلال قمري على الأفق(٢٣). وتسمح هذه الأنابيب الخالية من العدسات بتركيز النظر على مكان من السماء، وذلك بحذف الضوء الطفيلي(٢٤). لقد أشار البتاني

---

(٢٠) Charles Joseph Singer [et al.], eds., *A History of Technology,* 5 vols. (Oxford: Clarendon Press, 1954 - 1958), vol. 3, pp. 586 - 601.

(٢١) في بغداد ودمشق خاصة، منذ الأرصاد الأولى.

(٢٢) Olaf Pederson, *A Survey of the Almagest,* Acta Historica Scientiarum Naturalium et Medicinalium; 30 (Odense: Odense Universitetsforlag, 1974), pp. 408 - 422.

(٢٣) انظر: Albategnius, *Al-Battānī, sive Albatenii Opus Astronomicum (al-Zīj al-Ṣābī'),* vol. 3, pp. 137 - 138 et vol. 1, pp. 91 et 272.

(٢٤) انظر: R. Eisler, «The Polar Sighting Tube,» *Archives internationales d'histoire des sciences,* vol. 6 (1949), pp. 312 - 332.

فقط إلى هذه الأنابيب، أما البيروني فقد وصفها بدقة في فصل مخصص للتحقق من وجود الهلال الجديد على الأفق[٢٥]: «وعلى هذا عمل البربخ الذي ينصب على عمود له حركتان: إحداهما على نفسه حتى يدير البربخ في جميع الجهات، والأخرى بنرماذجة يمكن أن تحرك البربخ في سطح دائرة الارتفاع الذي هو فيما لا يزول عنه، وأما البربخ فلا يقصر عن خمسة أذرع وسعته عن ذراع يجتمع فيه البصر ويقوى بظله وظلمته ويزاد في ذلك بتسويد جوفه من داخله، فمتى كان العمود منصوباً على مركز الدائرة الهندية وأدير على نفسه حتى يحصل شاقول البربخ على خط سمت الهلال ثم حرك بالحركة الأخرى حتى أحاط البربخ مع وجه الأرض بزاوية تساوي زاوية ارتفاع الهلال، وذلك سهل بربع دائرة مقسومة بتسعين [درجة]، يضاف إلى العمود حتى يدور معه في موازاة البربخ».

لقد تأكد استعمال أنبوب الرصد في العالم العربي منذ نهاية القرن التاسع أو بداية القرن العاشر على الأقل. وقد انتقل إلى الغرب اللاتيني في القرون الوسطى حيث أصبح آلة تقليدية في علم الفلك[٢٦].

لقد سجلت أرصاد كثيرة أخرى في الشرق خلال القرن العاشر. لنذكر بسرعة تلك التي أجراها:

ـ القوهي وأبو الوفاء البوزجاني في آخر القرن العاشر، في مرصد كبير بُني في بغداد في حدائق القصر الملكي، في عهد شرف الدولة (٣٧٢ ـ ٣٧٩ هـ/ ٩٨٢ ـ ٩٨٩م).

ـ عبد الرحمن الصوفي (المتوفى سنة ٣٧٦ هـ/ ٩٨٦م) الذي رصد الكواكب الثابتة، بشكل نظامي في أصفهان، وقاس مواضعها، ونشر بذلك قائمته المشهورة للكواكب، التي تشكل مراجعة كاملة لقائمة بطلميوس[٢٧].

ـ ابن يونس في القاهرة في أواخر القرن العاشر وبداية القرن الحادي عشر[٢٨].

= لم تظهر أنابيب الرصد هذه بشكل واضح في أي نص فلكي يوناني منقول إلينا، ولكنها كانت معروفة منذ القرن السادس في الصين. انظر: Joseph Needham and Wang Ling, eds., *Science and Civilisation in China* (Cambridge, Eng.: Cambridge University Press, 1954 -), vol. 3: *Mathematics and the Sciences of the Heavens and the Earth,* pp. 332 - 334.

(٢٥) البيروني، **القانون المسعودي**، ص ٩٦٤، مؤلف B، الفصل ١٤، القسم الثاني.

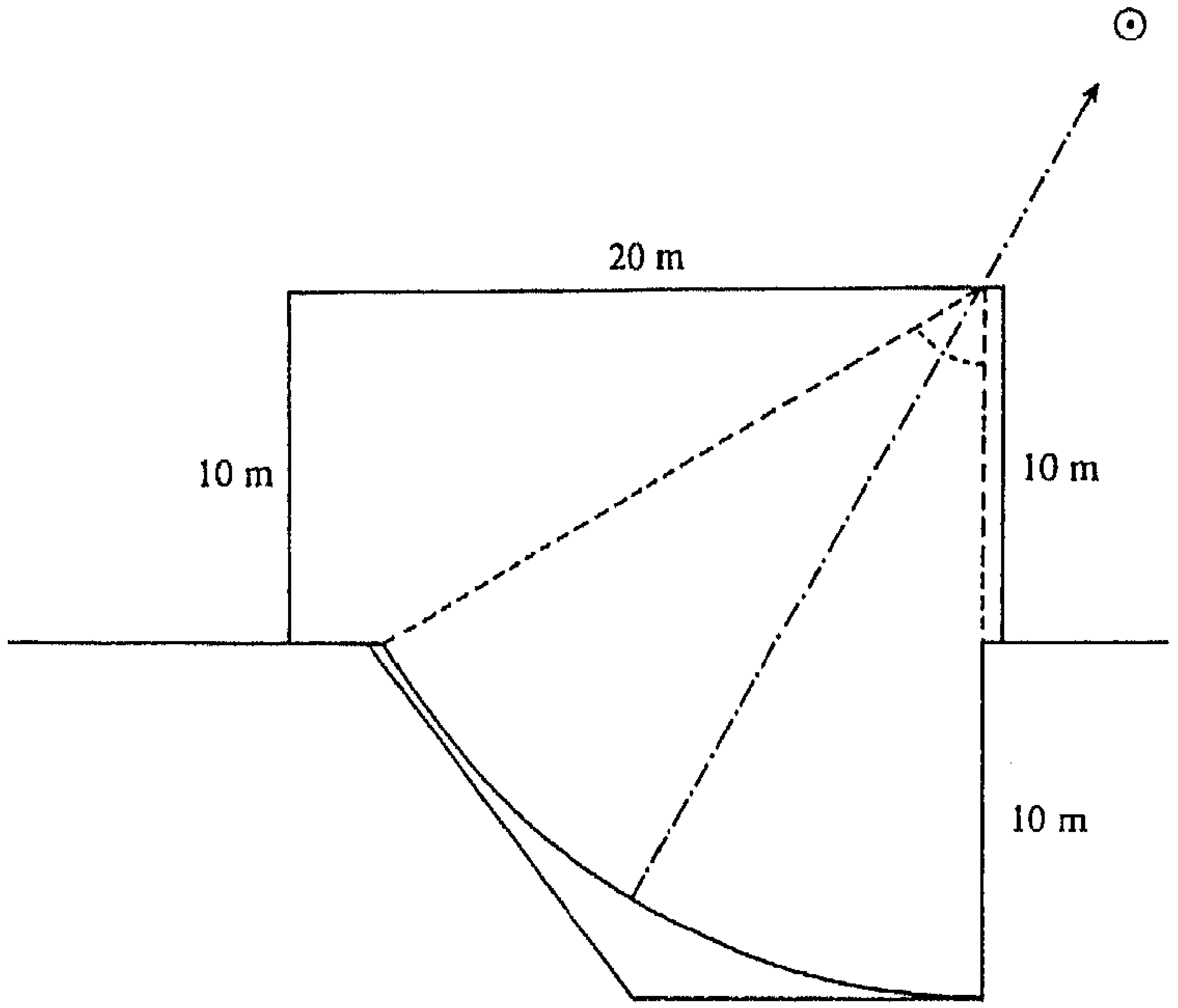
(٢٦) Eisler, Ibid., pp. 312 - 332.

(٢٧) انظر: عبد الرحمن بن عمر الصوفي، **كتاب صور الكواكب الثمانية والأربعين** (حيدر آباد الدكن: جمعية دائرة المعارف العثمانية، ١٩٥٣)، أعيد طبعه في (بيروت: دار الآفاق الجديدة، ١٩٨١)؛ الترجمة الفرنسية لـ: H. C. F. C. Schjellerup, *Description des étoiles fixes; composée au milieu du dixième siècle de notre ère, par l'astronomie persan 'Abd al-Raḥmān al-Ṣūfī* (St. Pétersbourg: Commissionaires de l'Académie impériale des sciences, 1874), réimprimé (Frankfurt: [s. n.], 1986).

(٢٨) انظر: Ibn Yūnus, *Le Livre de la grande table hakémite.*

ولكننا سنكون أكثر إسهاباً في الحديث عن مرصد ري.

لقد ابتكر الخجندي (المتوفى سنة ٣٩٠ هـ/ ١٠٠٠م) وأنجز سُدسيَّة كبيرة للأرصاد الشمسية في مدينة ري الواقعة على بعد 12 كلم جنوب طهران، في عهد فخر الدولة (٣٦٦ ـ ٣٨٧ هـ/ ٩٧٧ ـ ٩٩٧ م) الذي أعانه مالياً. وترتكز السدسية على مبدأ الغرفة السوداء. وهي غرفة مظلمة ذات فتحة صغيرة في السقف(٢٩).



الشكل رقم (١ ـ ٣)

كان المبنى موجَّهاً من الشمال إلى الجنوب بمحاذاة خط زوال المكان. وكان مؤلَّفاً من حائطين متوازيين، تفصل بينهما مسافة 3.5 أمتار، ويبلغ طول كل منهما 10 أمتار، مع علو يناهز 20 متراً (الشكل رقم (١ ـ ٣)). ولا يدخل فيه النور إلا من ثقب في الطرف الجنوبي من سقفه. وقد حُفرت أرضه جزئياً بين الحائطين بحيث يمكن رسم سدسية مركزها في فتحة السقف وشعاعها يبلغ 20 م. وقد غطي داخل قوس السدسية، حيث تتكون صورة الشمس عندما توجد على خط الطول، بصفائح من النحاس، وكانت

(٢٩) Fr. Bruin, «The Fakhri Sextant in Rayy,» *Al-Bīrūnī Newsletter* (Beirut, American University of Beirut), no. 19 (April 1969), pp. 1 - 12.

التداريج المرسومة على القوس تسمح بقياس ارتفاع الشمس على الأفق أو مسافتها إلى سمت الرأس. وقد بلغ طول كل درجة 35 سم تقريباً، وهي مقسومة إلى 360 قسماً يمثل كل قسم منها 10 ثوان. وتشكل صورة الشمس عند مرورها بخط الزوال دائرة يبلغ قطرها 18 سم. وبعد تحديد مركز هذه الدائرة تتم قراءة دقيقة لقيمة زاوية على الغلاف النحاسي. وقد قاس الخجندي سنة ٩٩٤ مَيل فلك البروج فوجده مساوياً لـ ١٩، ٣٢؛ ٢٣ درجة، وقاس خط عرض ريّ فوجده مساوياً لـ ٣٩، ٣٤؛ ٣٥ درجة. ولكن ليس لدينا أي دليل لمعرفة المدة التي استُعملت فيها هذه السدسية.

هناك إشارات عديدة إلى وجود آلات كبيرة الحجم في عدد من المراصد السابقة ـ فقد تم مثلاً إنجاز بناء شكله كروي وطول قطره 12.5 م في مرصد شرف الدولة في بغداد، يسمح بمتابعة مدار الشمس ـ ولكن وصف سدسية ري الكبيرة هو الأول من نوعه الذي أعطي بهذه الدقة لبناء كبير في نطاق مرصد ثابت، بينما كان أكثر الآلات الهلينستية التقليد قابلاً للنقل أو ممكن الصنع في مكان والنقل إلى مكان آخر للاستعمال، بما في ذلك الحلقات النحاسية الكبيرة والأنابيب المشابهة لأنبوب البتاني.

وهناك آلة أخرى كبيرة الحجم، لها قاعدة حجرية ثابتة، وصفها ابن سينا (٣٧٠ ـ ٤٢٨/ ٩٨٠ ـ ١٠٣٧) في كتابه **مقالة في الآلات الرصدية**[٣٠]. وهي عبارة عن حائط مستدير قطره 7 أمتار تقريباً، يحمل في قمته دائرة مدرَّجة وضعها أفقي دقيق. ويوجد في مركز الدائرة ركيزة تحمل مسطرة مزدوجة ذات مفصل عمودي يمكّنها من الدوران أفقياً حول هذا المركز. تستند المسطرة السفلى على الدائرة المدرجة وتسمح بقياس السمت، أما المسطرة العليا فهي مزوَّدة بجهاز لتصويب النظر؛ وتعطي الزاوية التي هي بين المسطرتين ارتفاع الجسم المرصود. وهكذا نجد ثانية تركيباً يقوم على مبدأ مماثل لمبدأ «أنبوب الرصد» الذي وصفه البيروني. وبعد مرور حوالى قرنين من الزمان على وصف هذه الآلة من قِبَل ابن سينا، تم في مَراغة إنشاء آلة أخرى شبيهة بها مع زيادة مجموعة أخرى من المساطر المفصلية، ـ أو زيادة جهاز يتألف من ميناءين عموديين لتصويب النظر قابلين للدوران بشكل مستقل حول مركز الدائرة الكبرى الحجرية ـ وذلك للتمكن من قياس الارتفاع والسمت لجرمين سماويين في نفس الوقت.

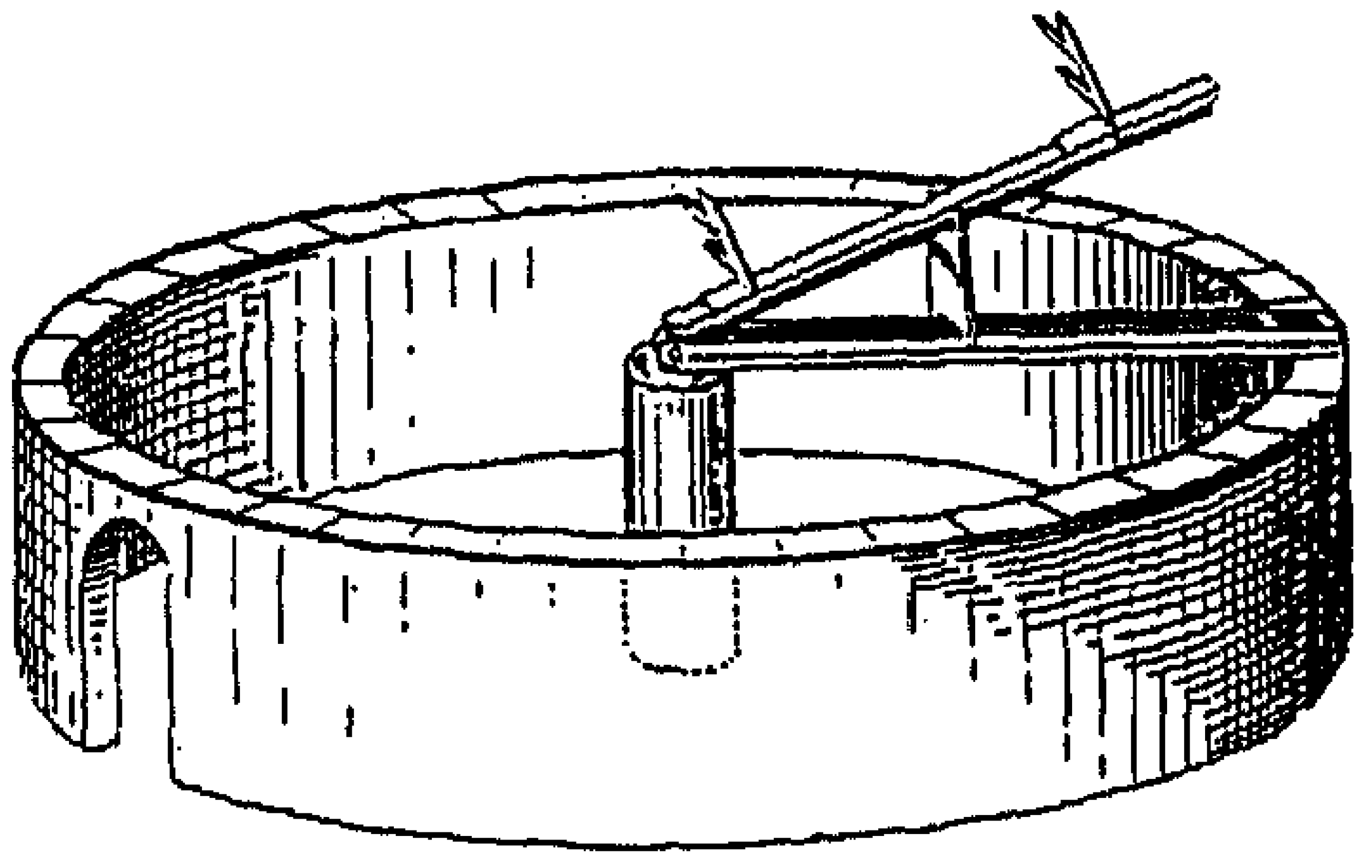
إن هذه الآلة التي وصفها ابن سينا تثير الاهتمام بشكل خاص، إذ انها مزوَّدة بجهاز

---

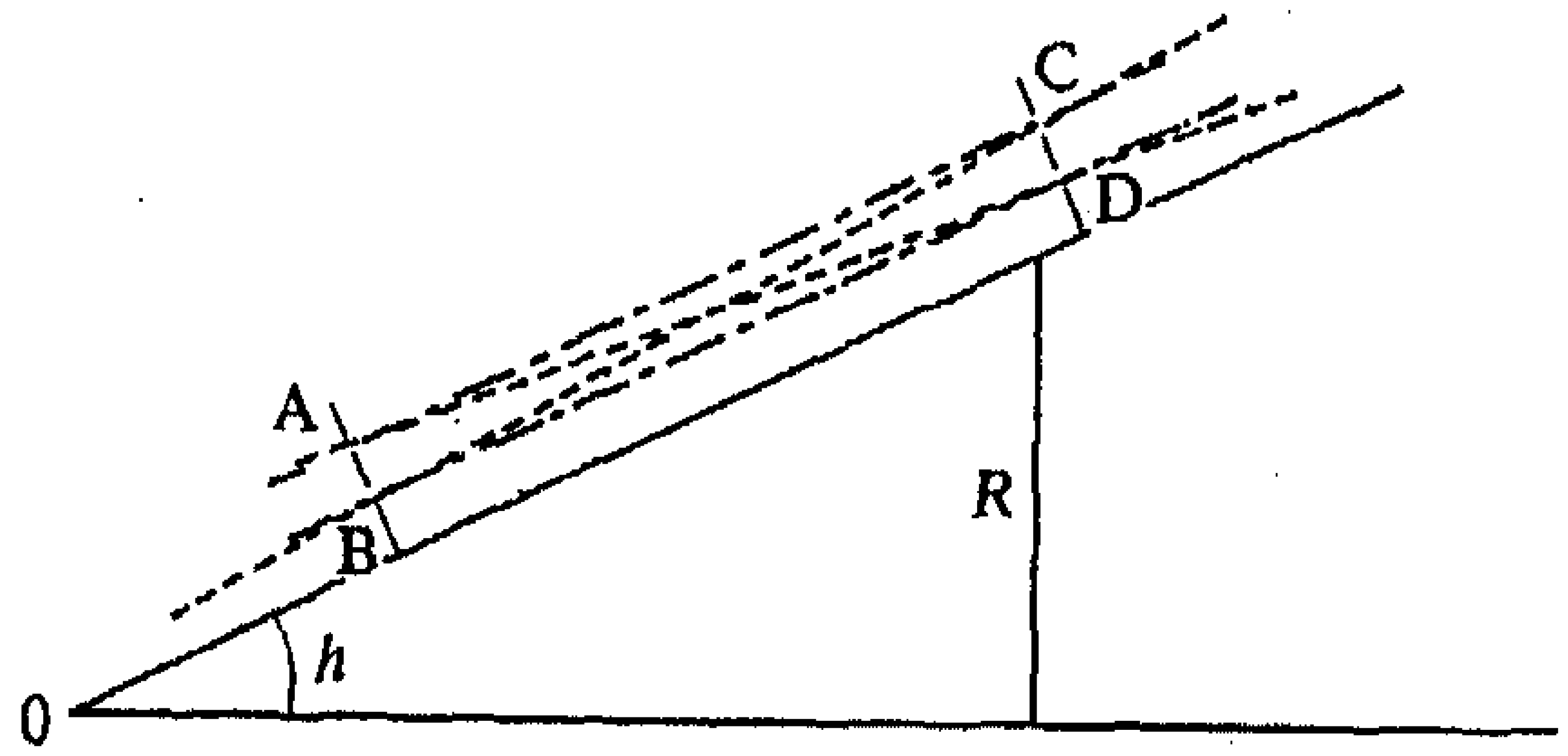
(٣٠) نشر وايدمان (Wiedemann) وجاينبول (Juynboll) النص العربي وترجماه إلى اللغة الألمانية مع شروح. الشكلان التاليان مأخوذان من هذه النشرة. Eilhard E. Wiedemann and Th. W. Juynboll, «Avicennas Schrift über ein von ihm ersonnenes Beobachtungsinstrument,» *Acta Orientalia*, Bd. 5 (1927), pp. 81 - 167.

أما رسم الآلة فقد أنجزه ج. فرانك تبعاً لمعطيات النص ولما يعرفه المؤلف الأخير عن آلات الرصد في مراغة.

لتصويب النظر أكثر دقة من أجهزة تصويب النظر التي رُكبت على الآلات التي سبقتها، مع إمكانية قراءة الدقائق والثواني بشكل مستقل. ومن المحتمل أن يكون ابن سينا قد ابتكر هذا الجهاز بنفسه. المسطرة العليا في هذا الجهاز مزودة بهدفَتَين متماثلتين متحركتين على طول المسطرة، لكل واحدة منهما ثقبان للتصويب (انظر الرسم على الشكل رقم (١ ـ ٤ ب))



الشكل رقم (١ ـ ٤أ)



الشكل رقم (١ ـ ٤ب)

متراكبان، A وB على الهَدَفة الأولى، وC و D على الهَدَفة الثانية، بحيث يكون AB=CD. لتكن a الزاوية CAD وb الزاوية CBD. إن قراءة وضعَي الهَدَفَتين على المسطرة العليا تمكّن من معرفة قيمتي هاتين الزاويتين. إذا صوّبنا النظر إلى جرم سماوي من خلال الثقبين A وC ـ أو B وD ـ يكون الارتفاع المطلوب للجرم السماوي المرصود مساوياً للزاوية h المحدّدة بوضع المسطرة الصغيرة R على المسطرة السفلى. وإذا صوّبنا النظر إلى نفس الجرم من خلال الثقبين A وD توجّب علينا تغيير موضع R بحيث تصبح قيمة الزاوية في النقطة O مساوية لـ h_1 بحيث يكون $h=h_1-a$. أما اذا صوّبنا النظر من خلال الثقبين B و C، فيجب تغيير الزاوية في O من جديد لكي تأخذ القيمة h_2 بحيث يكون $h=h_2+b$. وهكذا

يمكن جعل R في موضع بحيث تكون قيمة h_1 مساوية لأصغر عدد صحيح بالدرجات يتجاوز ارتفاع الجرم المرصود، وتكون قيمة h_2 مساوية لأكبر عدد صحيح بالدرجات لا يتعدى ارتفاع الجرم. بعد ذلك يجري تعديل وضعَي الهدفتين على المسطرة العليا بشكل يسمح برصد الجرم السماوي من خلال A وD أو B وC وبتحديد دقيق لقيمة الزاوية a أو قيمة الزاوية b اللتين تقلّان عن الدرجة الواحدة. ولا يبقى علينا عندئذ سوى طرح a من h أو زيادة b إلى h_2. وهكذا نرى أن موضع المسطرة الصغيرة R يعطي عدد الدرجات بينما نحصل على الدقائق من موضعَي الهدفتين AB وCD. إن هذه الطريقة تحقق لنا كسباً كبير الأهمية في دقة القياسات المسجّلة.

أسس مَلِكشاه (٤٦٥ ـ ٤٨٥هـ/ ١٠٧٢ ـ ١٠٩٢م) حوالى سنة ١٠٧٤م، في منطقة أصفهان على الأرجح، مرصداً كبيراً، منظماً بعناية، عمل فيه خاصة الخيّام. لقد برمجت فيه الأرصاد لمدة ثلاثين سنة، وهي مدة دورة كاملة لزُحَل، الكوكب المعروف في ذلك الوقت بكونه الأكثر بعداً عن الأرض[٣١]. ولكن هذا المرصد لم يعمل، في الواقع، إلا لمدة ١٨ عاماً فقط، إذ توقف العمل فيه بوفاة مؤسّسه. إلا أنه كان أول مرصد رسمي تواصل نشاطه طيلة مثل هذه المدة في إطار تنظيم مخطط دقيق. لقد بُني، وفقاً لهذا النهج بشكل واضح، مرصد مراغة الذي نعرف جيداً كيف كان يعمل، في النصف الثاني من القرن الثالث عشر، فسجل منعطفاً هاماً في تاريخ علم الفلك العربي[٣٢].

سمح مرصد مراغة (التي تقع في شمال غرب إيران الحالية) بإعداد مجموعة من الجداول الفلكية هي **الزيج الألخاني**. وأعطى، على الأخص، العلماء الذين كانوا يعملون فيه إمكانية إعداد هيئات هندسية أحسن من تلك التي وضعها بطلميوس لتحليل الحركات السماوية، وذلك بفضل الجودة الكبيرة للآليات والتنظيم الدقيق للعمل وعدد الباحثين من ذوي المستوى الرفيع الذين استطاعوا العمل فيه في آن واحد. كان نصير الدين الطوسي (٥٩٧ ـ ٦٧٢هـ/ ١٢٠١ ـ ١٢٧٤م) رب العمل فيه، بينما كان العُرضي (المتوفى سنة ٦٦٤هـ/ ١٢٦٦م) مسؤولاً عن تصميم الآلات.

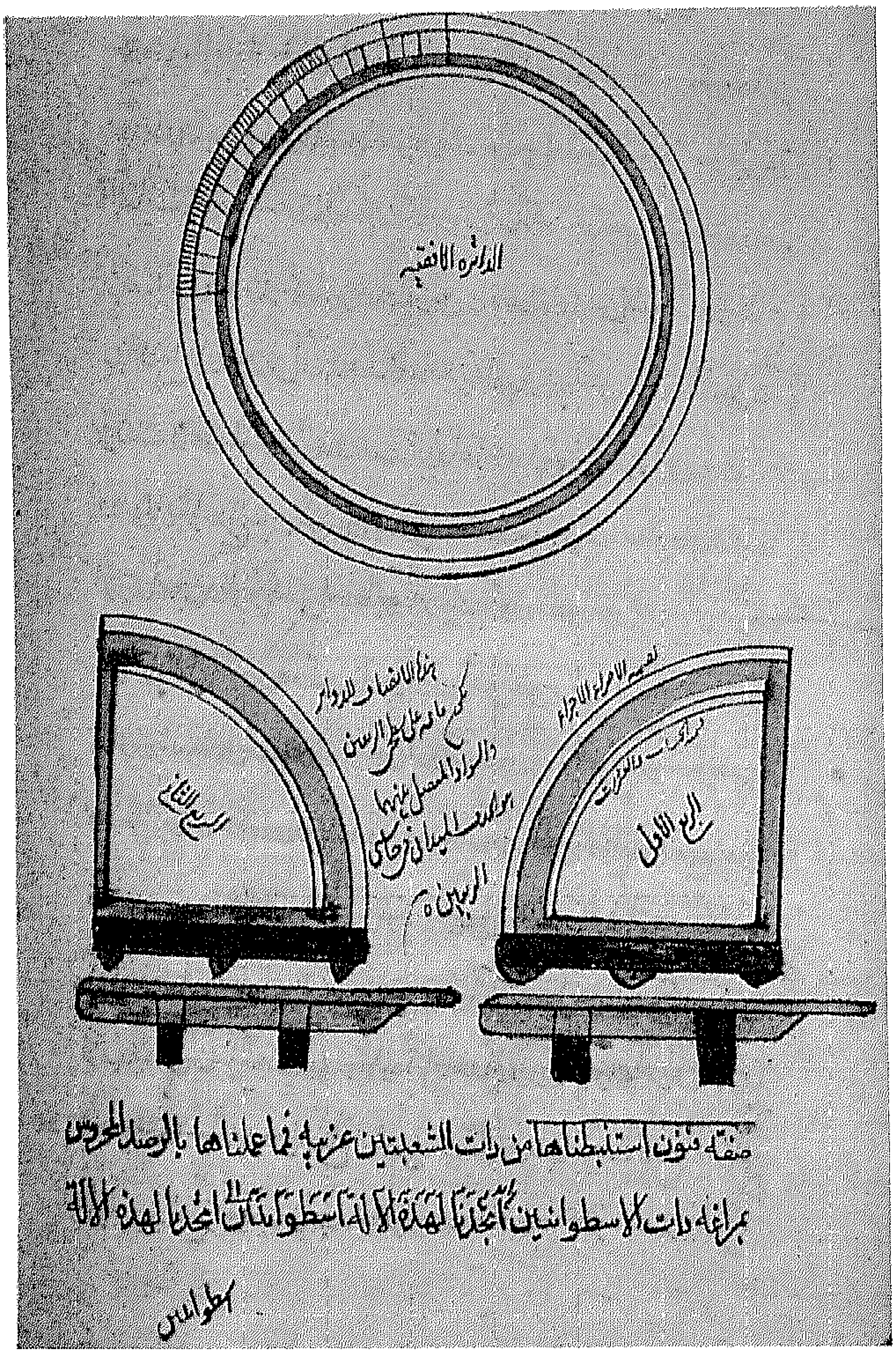
وقد موّل البناء هولاكو خان (المتوفى سنة ٦٦٣هـ/ ١٢٦٥م) الذي خصص للمرصد إيرادات هامة من أموال الأوقاف لتأمين نفقاته. وكانت هذه هي المرة الأولى، على علمنا، التي يتمتع فيها مرصد بهذا الامتياز، وهذا ما يفسر كيف أمكن استمرار العمل فيه حتى

---

(٣١) انظر: Sayili, *The Observatory in Islam and Its Place in the General History of the Observatory*, pp. 160 - 166.

(٣٢) انظر: المصدر نفسه، ص ٢٥٩ ـ ٣٠٥، و P. Vardjavand, «Rapport sur les résultats des excavations du complexe scientifique de l'observatoire de Marāgha,» paper presented at: Muammer Dizer, ed., *Proceedings of the International Symposium on the Observatories in Islam, Istanbul, 19 - 23 September 1977* (Istanbul: [n. pb.], 1980), pp. 143 - 163.

بعد وفاة مؤسّسه هولاكو، إذ إن التمويل لم ينقطع فجأة بوفاة الأمير الذي رعاه، كما حدث لمرصد ملكشاه مثلاً.



الصورة رقم (١ ـ ١)

مؤيد الدين العرضي، رسالة في كيفية الأرصاد

(اسطنبول، مخطوطة أحمد الثالث، ٣٣٢٩).

خصص العرضي هذا الكتاب لتصميم الآلات اللازمة لمرصد «مراغة»، ونرى هنا آلتين ووضعهما الفعلي في المرصد.

بدأ بناء هذا المرصد في سنة (٦٥٧هـ/ ١٢٥٩م)، وتم، على ما يظهر، في سنة ٦٦١هـ/١٢٦٣م، وقد تضمنت مجموعة الأبنية التي شُيِّدت على أرض بلغت أبعادها 220 × 280 م، بالإضافة إلى مختلف الآلات، مكتبة علمية عظيمة الأهمية ومسبكة لصنع الأجهزة النحاسية. أما الآلات التي صممها العُرضي فهي التي كانت معروفة في ذلك الوقت، ولكنها حُسنت كِبَراً ودقة، ما عدا آلة واحدة يظهر أنها ابتُكرت في مراغة. تلك هي الدائرة السمتية المزوّدة بميناءين لتسمح، بقياس الارتفاع على الأفق لجرمين، في آن واحد.

كان برنامج الأرصاد المتواصلة، كما ابتغاه نصير الدين الطوسي، مُعَداً لمدة ثلاثين عاماً، مثلما كان ذلك في مرصد ملكشاه ولنفس السبب، الا أن هذه المدة عُدّلت إلى اثنتي عشرة سنة، مقدار دورة المشتري. وقد نُشر **الزيج الأخاني** فعلاً بعد هذه المدة. لقد عمل كثير من العلماء في مراغة، أشهرهم نصير الدين الطوسي ومؤيد الدين العرضي المذكوران سابقاً، ومحيي الدين المغربي وقطب الدين شيرازي اللذان سنتحدث عنهما في الفصول القادمة. كل هؤلاء شاركوا في عملية تجاوز علم فلك بطلميوس. وهكذا تشكلت «مدرسة» حقيقية حول مراغة كان لها تأثير هام على كل التطور اللاحق في علم الفلك في الشرق.

هناك آثار لنشاط هذا المرصد حتى سنة ٧١٥هـ/ ١٣١٦م، تاريخ وفاة آخر مدير معروف له، وهو أصيل الدين، الذي استلم إدارته سنة ٧٠٤هـ/ ١٣٠٤م. إلا أن أبنيته كانت مهدمة حوالى سنة ١٣٥٠م. لذلك نحن أكيدون أن مرصد مراغة قد عمل مدة ما يزيد على خمسين عاماً دون أن نستطيع إعطاء تاريخ دقيق لتوقف العمل فيه.

كان لهذا المرصد تأثير كبير، ليس فقط بسبب أهمية الأعمال العلمية التي أُنجزت في إطاره والتي سنفصّلها فيما بعد، بل أيضاً لأنه ظهر كنموذج للمراصد الكبرى اللاحقة. وأشهر هذه المراصد جودة في الآلات هما مرصدا سمرقند واسطنبول. لقد أسس مرصد سمرقند سنة ٨٢٣هـ/ ١٤٢٠م الحاكم ألغ بك الذي كان أيضاً رجل علم كبير الأهمية. وقد تواصل نشاط هذا المرصد حتى سنة ١٥٠٠م تقريباً[٣٣]. أما مرصد اسطنبول فقد بناه الفلكي تقي الدين ابتداء من سنة ٩٨٢ هـ/ ١٥٧٥م ولم يعمل سوى عدة سنوات فقط[٣٤]. إن أواخر المراصد الكبرى التابعة لتقليد مراغة أُسست على يد جاي سنغ في الهند، في القرن الثامن عشر. نذكر منها خاصة مرصد جايبور (١٧٤٠) الذي ما تزال أغلب آلاته في مكانها حتى اليوم.

---

(٣٣) انظر: L. A. Sédillot, *Prolégomènes des tables astronomiques d'Oloug Beyg* (Paris: Didot, 1853).

(٣٤) انظر: Sayili, Ibid., pp. 259 - 305.

الصورة رقم (١ ـ ٢)

مرصد جايبور (جنوب غرب دلهي).
نرى في الصورة سلسلة من الأبنية الضخمة التي كانت تستعمل
لرصد حركة الشمس ووضعها على دائرة البروج،
والتي كانت تستعمل أيضاً لتحديد الوقت.

لقد تمكنا من خلال هذه اللمحة الموجزة أن نرى بشكل سريع تطور المراصد في الشرق. أما في الغرب الإسلامي، الأندلس والمغرب، فقد كان نشاط الرصد الفلكي أضعف بكثير مما كان في الشرق، ولم يندرج في تقليد متبوع. ونحن لا نجد فيه أثراً لمراصد عامة منظّمة. إن الأرصاد الدقيقة الوحيدة التي نُقلت قد أنجزت هناك في مراصد خاصة، في نهاية القرن الرابع الهجري، العاشر الميلادي، من قبل مَسلمَة المجريطي، وفي القرن الخامس الهجري، الحادي عشر الميلادي، من قبل الزرقالي الذي كان لمؤلّفه جداول **طليطلة** تأثير كبير في الغرب اللاتيني خلال القرون الوسطى(٣٥).

(٣٥) انظر: *Dictionary of Scientific Biography*, 18 vols. (New York: Scribner, 1970 - 1990).

ثالثاً: مسائل علم الفلك العملية

ابتداءً من نهاية القرن الثامن ومع تطور العلوم الدقيقة في النطاق المتميز لمجتمع إسلامي منظم، طلب من العلماء المتخصصين في مختلف المواد العلمية، أن يحلّوا بعض المسائل ذات التأثير الاجتماعي أو الديني. وهكذا كان على علماء الفلك مثلاً أن يلبوا الطلبات التقنية للمنجّمين الذين كان دورهم الاجتماعي والرسمي مهماً. وقد تمت، لأجل ذلك جزئياً، كتابة الأزياج. وقد طُلب من الفلكيين على الأخص الإسهام في حل مسائل عملية تتعلق بالتقاويم والساعات والتوجه على الأرض أو على البحر. وهذا ما عبر عنه ابن يونس في مقدمة كتابه **الزيج الحاكمي**، الذي حرره في بداية القرن الحادي عشر قائلاً: «ولما كان للكواكب ارتباط بالشرع في معرفة أوقات الصلوات وطلوع الفجر الذي يحرِّم به على الصائم الطعام والشراب، وهو آخر أوقات الفجر، وكذلك مغيب الشَّفَق الذي هو أول أوقات العِشا الآخرة، وانقضاء الأيمان والنذور والمعرفة بأوقات الكسوف للتأهب لصلاته والتوجه إلى الكعبة لكل مُصلٍّ، وأوائل الشهور معرفة بعض الأيام إذا وقع فيه شكٌّ وأوان الزرع ولقاح الشجر وجني الثمار ومعرفة سمت مكان من مكان والاهتداء عن الضلال»(٣٦).

كل هذه المواضيع كانت مصدراً للتطورات النظرية الهامة التي تجاوزت كثيراً الإطار الضيق للمسائل التطبيقية المطروحة. سوف نعالج فيما بعد بشكل خاص: صناعة المزاوِل وعلم الميقات، ومسألة القِبلة، أي كيفية تحديد اتجاه مكة انطلاقاً من مكان معين، حساب قابلية رؤية الهلال، الجغرافيا الرياضية، حساب خط الطول وخط العرض لمكان معين، وعلم الملاحة للتوجه في البحر...

لنفصِّل الآن مسائل التقاويم.

التقويم الرسمي في العالم العربي هو التقويم الهجري الذي يستند إلى السنة القمرية. لنذكِّر بأن السنة الأولى للهجرة قد بدأت في يوم الجمعة ١٦ تموز/ يوليو سنة ٦٢٢ ميلادية، وأن السنة القمرية تتألف من اثني عشر شهراً، والشهر القمري يتألف من ٢٩ أو ٣٠ يوماً. ويحدث تغيير اليوم عند غروب الشمس، بينما يتم الدخول في الشهر التالي عند رؤية أول هلال قمري على الأفق تماماً بعد غروب الشمس. لقد أعطى بطلميوس قيمة دقيقة جداً لمتوسط طول الشهر القمري. وهي تزيد قليلاً على ٢٩ يوماً ونصف (بحوالى 44 دقيقة تقريباً). لذلك فإن القيمة الوسطية للسنة القمرية المؤلفة من اثني عشر شهراً، تساوي ٣٥٤,٣٦٧ يوماً. وقد تحقق الفلكيون العرب من هذه القيمة وأخذوا بها منذ القرن التاسع، وأعدوا دورة من ٣٠ سنة لوضع تقويم رسمي، تتناوب فيه الأشهر ذات الأطوال المساوية لـ ٣٠ يوماً مع الأشهر ذات الأطوال المساوية لـ ٢٩ يوماً، ويزاد يوم في الشهر

---

(٣٦) انظر: Ibn Yūnus, *Le Livre de la grande table hakémite*, pp. 60 - 61.

الأخير لكل سنة من السنوات الإحدى عشرة، لهذه الدورة، والتي تحمل الأرقام التالية: ٢، ٥، ٧، ١٠، ١٣، ١٦، ١٨، ٢١، ٢٤، ٢٦، و٢٩. وهكذا تمّ التوافق على المدى الطويل، مع المعطيات الفلكية بشكل جيد. ولكن رؤية أول هلال على الأفق، مساء اليوم التاسع والعشرين، كانت تقود دائماً إلى تغيير الشهر في المكان الذي تحصل فيه هذه الرؤية، مما قد يؤدي إلى حصول فرق مساوٍ للوحدة في مراتب أيام الشهر من طرف إلى آخر من أطراف العالم الإسلامي. ومع أن الشريعة الدينية تقتضي رؤية الهلال الفعلية، فإن المسألة المطروحة على علماء الفلك هي مسألة إمكانية التنبؤ، عن طريق الحساب، بقابلية رؤية هلال القمر في مكان معين، مساء اليوم التاسع والعشرين للشهر، مهما كانت معطيات التقويم الرسمي (وهذا ما يخص «الأيام التي يدخل فيها الشك»، في النص السابق لابن يونس). إن هذه المسألة صعبة نظراً لعدد الوسائط التي تدخل فيها ـ إحداثيات الشمس والقمر السماوية، السرعة الظاهرية النسبية لهذين «النيّرين»، عرض المكان، ضيائية السماء على الأفق، . . الخ. وقد أكبَّ عليها العديد من علماء الفلك، وهذا ما أدى إلى تطورات نظرية مهمة جداً حول قابلية رؤية الكواكب على الأفق، تماماً بعد غروب الشمس.

كان التقويم الشمسي دائم الاستخدام في بلاد الفرس، إلى جانب التقويم القمري. وكان مطابقاً حينئذ لـ **تاريخ يزدجرد** الذي بدأ في ١٦ حزيران/ يونيو سنة ٦٣٢م. وكما هي الحال في «التقويم المصري» الذي استخدمه بطلميوس في **المجسطي**، تنقسم السنة إلى اثني عشر شهراً، طول كل واحد منها ثلاثون يوماً، يضاف إليها في آخرها خمسة أيام إذا كانت سنة عادية، وستة أيام كل أربع سنوات عندما تكون كبيسة. هذه الأيام الإضافية التي كانت تسمى «الأيام النسيئة»، سمحت بمطابقة السنة الرسمية مع السنة الشمسية الفلكية. لقد تبنى علماء الفلك في بغداد هذا التقويم منذ البداية لأن الدورة الشمسية هي في أساس القياسات في علم الفلك، ولأنه من الأسهل وضع جداول حركات الكواكب عندما يبقى طول كل شهر مساوياً بشكل دائم لثلاثين يوماً. ولكن طول السنة أقصر بقليل من ٣٦٥ يوماً وربع اليوم، وفي آخر القرن الحادي عشر كلّف جلال الدولة ملكشاه ـ الذي أسس المرصد الكبير المشار إليه آنفاً ـ علماء الفلك الذين كانوا تحت رعايته بمراجعة تركيب هذا التقويم للقيام بالتصحيحات الضرورية وتجنب تراكم التفاوت البسيط مع حركة الشمس الظاهرية. وهكذا أسس في سنة ٤٦٧هـ/ ١٠٧٥م، «التاريخ الجلالي» الذي يوجد فيه ثماني سنوات كبيسة كل ٣٣ سنة ـ بدلاً من ٣٢ سنة في التقويم السابق ـ و هذا ما أعطى تطابقاً ممتازاً مع الحسابات الفلكية. إن هذا التصحيح شبيه بالتصحيح الذي لم يحصل في الغرب إلا في سنة ١٥٨٢م عندما تم الانتقال من التقويم اليوليوسي إلى التقويم الغريغوري[٣٧].

(٣٧) انظر: «Djalālī,» dans: *Encyclopédie de l'Islam*, vol. 2, pp. 408 - 410.

لكن المساهمة الكبرى لعلماء الفلك العرب، خارج ما يمكن أن نسميه بعلم الفلك العملي، تكمن في ميدان علم الفلك النظري البحت الذي لا يخلو من صلة مع الميدان السابق.

رابعاً: الفترات الكبرى في تاريخ علم الفلك العربي

يمكن أن نقسم إجمالاً تاريخ علم الفلك العربي إلى فترتين كبيرتين يقع عند ملتقاهما القرن الحادي عشر.

كان عمل الفلكيين من القرن التاسع حتى القرن الحادي عشر يتم، بشكل شبه حصري، ضمن إطار المخططات الهندسية الموروثة عن بطلميوس والتي نُقّحت وانتُقدت استناداً على أرصاد جديدة. وفي القرن الحادي عشر قام ابن الهيثم (٣٥٤ ـ ٤٣٠هـ/ ٩٦٥ ـ ١٠٣٩م) بتقدير شامل للملف العلمي المتراكم خلال قرنين في كتابه **الشكوك على بطلميوس**[٣٨]. وقد وضع فيه قائمة بالتناقضات الموجودة في كتب بطلميوس: **المجسطي وكتاب الاقتصاص والبصريات**، تلك التناقضات التي أظهرتها أعمال الفلكيين السابقة والتي بقيت دون حل. ولكنه لم يقترح حلاً لهذه التناقضات.

إن هذا البيان النقدي أدى إلى مأزق مؤقت، إذ لا يمكن إيجاد حل إلا من خارج الإطار الذي بقي فيه علم الفلك سجيناً. لذلك جرى البحث عن حلول من نوعين مختلفين كل الاختلاف، أحدهما في الغرب الإسلامي والآخر في الشرق.

ظهر اقتراح، في الأندلس، للرجوع إلى المبادىء الأرسطية: التخلي عن أفلاك التدوير والدوائر الخارجة المراكز والعودة إلى الكرات المتحدة المراكز التي هي أكثر تماسكاً من وجهة النظر الفيزيائية. إن البطروجي (أواخر القرن الثاني عشر) هو الممثل الأكثر تشخيصاً لهذه المدرسة. ولكن أسسها كادت أن تكون فلسفية محضة. وكان من المستحيل القيام بحساب، انطلاقاً من نتائجها، أو التثبت من هذه النتائج بأرصاد مرقمة. وهكذا أدى هذا المنهج إلى طريق مسدود، وإن بقي مضمونه الفلسفي مثيراً للاهتمام.

أما الحل المقترح في الشرق فكان ذا طابع علمي، وهذا ما نسميه بالفترة الثانية في علم الفلك العربي، إذ جرى البحث، من أجل تحليل حركات الكواكب، عن هيئات هندسية لأفلاك التدوير والدوائر المنحرفة المراكز. وكانت هذه الهيئات تستند إلى مبدأ مركزية الأرض، ولكنها مخالفة لما وضعه بطلميوس. ولقد تم القسم الأكبر من هذا العمل على أيدي الفريق المشكل حول مرصد مراغة الذي وصفناه سابقاً.

وهكذا سنقسم عرضنا لتطور علم الفلك النظري في العالم العربي إلى فصلين متميزين مقابلين للفترتين الشرقيتين الكبيرتين، وستتكلم عن عمل الفلكيين في الغرب الإسلامي في الفصل التاسع: تطورات العلم العربي في الأندلس.

---

(٣٨) انظر في المراجع ما ورد تحت اسم ابن الهيثم.

ـ ٢ ـ

علم الفلك العربي الشرقي بين القرنين الثامن والحادي عشر(*)

ريجيس مورلون

يذكر القفطي أن أول عالم عربي اهتم بعلم الفلك هو محمد بن إبراهيم الفزاري (النصف الثاني من القرن الثامن للميلاد)، وذلك في بداية عهد العباسيين[1]. وقد ورد اسمه في رواية مشهورة تقول إن الخليفة المنصور قد استقبل حوالى سنة ٧٧٠م في بغداد وفداً هندياً ضم عالِماً بالفلك. لم يُذكر اسم هذا العالِم ولكن الرواية تقول انه كان يحمل نصاً واحداً على الأقل باللغة السنسكريتية في علم الفلك، وان هذا النص قد نقل إلى العربية تحت اسم زيج السندهند[2] بحضور عالِم الفلك الهندي وتحت إشرافه. وقد كُلِّف الفزاري ويعقوب بن طارق بهذا العمل[3]. ومهما تكن القيمة التاريخية لتفاصيل الوقائع

(*) قام بترجمة هذا الفصل بدوي المبسوط.

(١) انظر: أبو الحسن علي بن يوسف القفطي، **تاريخ الحكماء: وهو مختصر الزوزني المسمى بالمنتخبات الملتقطات من كتاب إخبار العلماء بأخبار الحكماء**، تحقيق يوليوس ليبرت (ليبزيغ: ديتريخ، ١٩٠٣).

(٢) انظر الإشارة إلى المراجع الهندية في الفصل الأول.

(٣) انظر: أبو الريحان محمد بن أحمد البيروني، **كتاب في تحقيق ما للهند** (حيدر آباد الدكن: [د.ن.]، ١٩٥٨)، ص ٣٥١ ـ ٣٥٢. إن البيروني، بشكل عام، كاتب أمين جداً عندما ينقل رواية ذات طابع علمي، لا سيما في ما يخص الهند. ومن الأرجح أن تكون الرواية، التي نحن بصددها، مستندة إلى واقعة تاريخية حقيقية. ولكننا لا نستطيع أن نجزم إطلاقاً بأصالة كل ما ورد في هذه الرواية بسبب نقص بعض العناصر: إن المصادر العربية المختلفة لا تتفق على تاريخ أكيد للرواية، من هو هذا العالم الفلكي الهندي؟ وبأية لغة تحاور مع محادثيه؟ هل كان الغرض ترجمة نص بالمعنى الخاص للكلمة وأي نص؟ إذ إن العبارة «زيج السندهند» قد تكون عامة بشكل خالص، أم لم يكن هناك إلا نقل لنتائج على شكل جداول؟... الخ.

المسرودة في هذه الرواية، فقد أجمع المؤلفون الذين جاؤوا بعد المؤلفَين الأخيرين على أنهما اللذان أدخلا علم الفلك للمرة الأولى في العالم العربي استناداً إلى مصادر هندية.

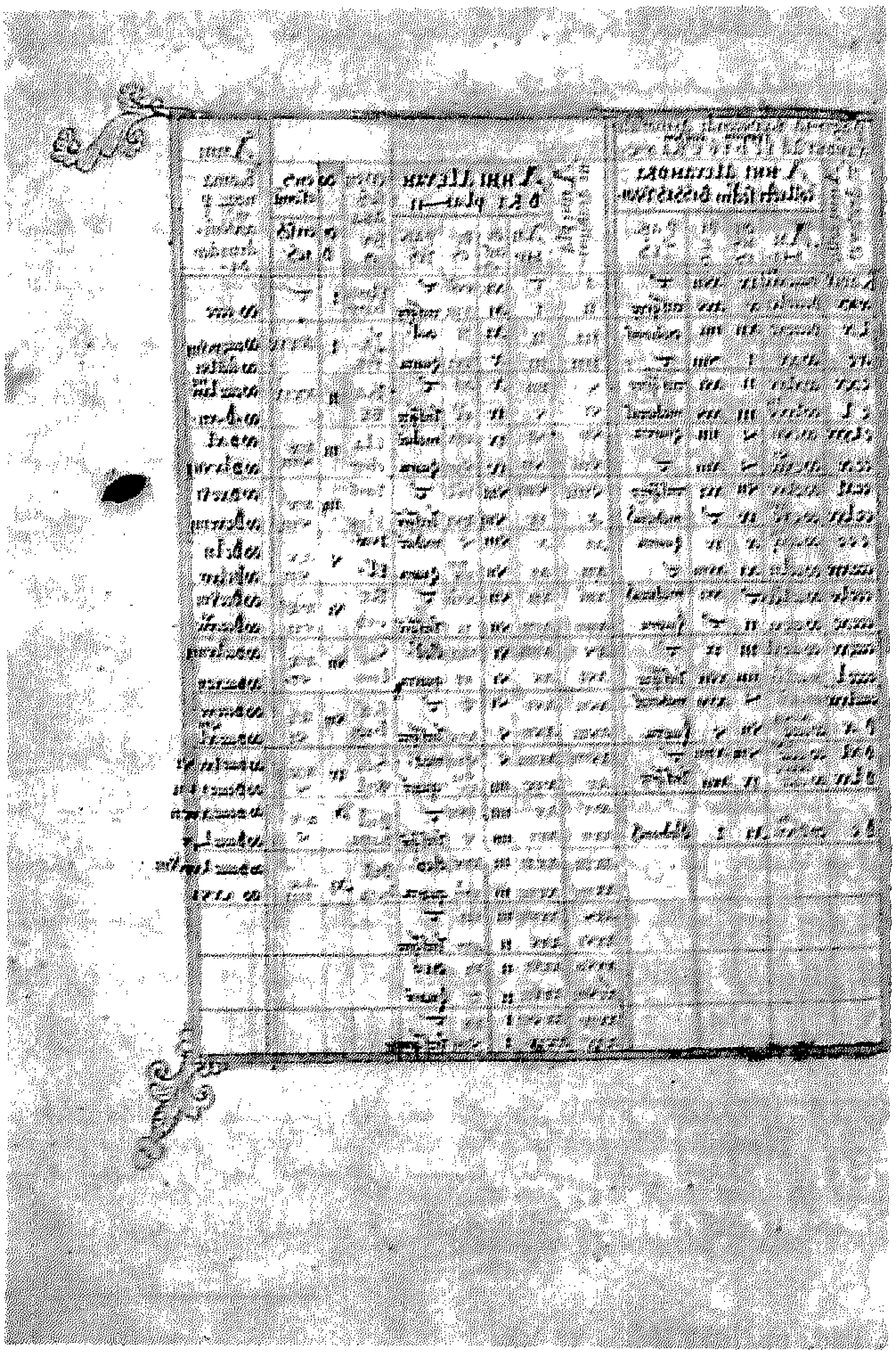
لقد ضاعت مؤلَّفات الفزاري ويعقوب بن طارق، ولكن بقي منها عدد من المقتطفات، لدى الكتاب اللاحقين(٤). من المعروف أن الأول قد ألَّف **زيج السندهند الكبير**. وتدل الاستشهادات اللاحقة المأخوذة من هذا الكتاب على أن الفزاري قد مزج بين وسائط هندية وعناصر من أصل فارسي مأخوذة من **زيج الشاه**. وهناك آثار لثلاثة مؤلَّفات ليعقوب بن طارق: **زيج محلول في السندهند لدرجة درجة**، **تركيب الأفلاك**، وكتاب **العلل**. وإن أسس الاستدلال في هذه الكتب الثلاثة هي نفسها التي اتبعها الفزاري. لقد كان لهذين المؤلِّفين الفضل الكبير في إدخال علم الفلك في العالم العربي. ولكن مؤلَّفاتهما، إذا حكمنا عليها من خلال ما تبقى منها، تظهر كأنها تجميع للعناصر التي كانت تحت تصرفهما، دون التحقق منها بالرصد، ودون السعي إلى تماسك حقيقي داخلي.

إن أول كتاب في علم الفلك العربي نقل إلينا بكامله هو **زيج السندهند** لمحمد بن موسى الخوارزمي. وهو يتبع التقليد السابق مع إدخال لعناصر من علم فلك بطلميوس. لقد فُقد نصه العربي، وتم نقله بواسطة ترجمة لاتينية أنجزها في القرن الثاني عشر للميلاد أدلار دو باث (Adélard de Bath) استناداً إلى مراجعة للكتاب أجراها المجريطي (المتوفى سنة ٣٩٨ هـ/ ١٠٠٧م) في الأندلس(٥).

عاش الخوارزمي من نهاية القرن الثامن إلى منتصف القرن التاسع للميلاد، وهو مشهور أيضاً كرياضي بفضل مؤلَّفه في الجبر. وقد حرَّر كتابه في علم الفلك في عهد المأمون (٨١٣ ـ ٨٣٣م). لا يحتوي الكتاب على أي عنصر نظري، وهو عبارة عن مجموعة جداول لحركات الشمس والقمر والكواكب الخمسة المعروفة، مع شرح لطريقة استخدامها العملي. إن أكثر الوسائط المستخدمة فيه هندية المصدر، وكذلك هي طرق الحساب الموصوفة فيه وخاصة استخدام الجيوب. غير أن الخوارزمي اقتبس بعض عناصر الكتاب

(٤) حول الفزاري، انظر: David Pingree, «The Fragments of the Works of al-Fazārī,» *Journal of Near Eastern Studies,* vol, 29, no. 2 (April 1970), pp. 103 - 123.
وحول يعقوب بن طارق، انظر: David Pingree, «The Fragments of the Works of Ya'qūb Ibn Ṭāriq,» *Journal of Near Eastern Studies,* vol. 27, no. 2 (April 1968), pp. 97 - 125.

(٥) نص لاتيني نشره: Heinrich Suter, *Die Astronomischen Tafeln des Muhammed Ibn Mūsā al-Khwārizmī in der Bearbeitung des Maslama Ibn Ahmed al-Madjrīṭī und der latein,* Übersetzung des Athelhard von Bath auf grun der vorarbeiten von A. Björnbo und R. Besthorn in Kopenhagen... hrsg und Kommentiert von H. Suter (Kobenhavn: A. F. Host and Son, 1914), ترجمه وشرحه: Otto Neugebauer, *The Astronomical Tables of al-Khwārizmī*, translated with commentary of the latin version (Copenhagen: [n. pb.], 1962).



الصورة رقم (٢ ـ ١)

محمد بن موسى الخوارزمي (الثلث الأول من القرن الثالث الهجري، النصف الأول من القرن التاسع الميلادي)، **الزيج**، تنقيح أبو القاسم مسلمة المجريطي (٣٣٨ ـ ٣٩٨هـ/ ٩٥٠ ـ ١٠٠٧م)؛ ترجمة أدلار دو باث (أوكسفورد، مخطوطة مكتبة بودلين، Auct. F 1.9).

لم يبق من هذا النص الا ترجمته اللاتينية بعد أن فُقد الأصل العربي. واعتمد الخوارزمي في كتابة هذا، **الزيج**، على أصول هندية دخلت العالم العربي قبل ترجمة النصوص اليونانية. ولقد نقح المجريطي بعض النتائج حتى توافق ما يمكن الحصول عليه على خط طول قرطبة في الأندلس.

من الجداول الميسرة لبطلميوس[٦] دون أن يسعى إلى تماسك ما بين مختلف النتائج المأخوذة عن الهنود في أول الأمر وعن بطلميوس بعد ذلك. وهكذا نجد هنا نفس المشكلة التي لقيناها في مؤلفات الفزاري وابن طارق، والتي نتجت عن استخدام المصادر الهندية والفارسية في آن واحد.

وقد أصبح دور هذه التقاليد الهندية، التي لا تتضمن إلا طرائق للحساب ومجموعات من الوسائط لتأليف الجداول، ثانوياً بسرعة بالنسبة إلى علماء الفلك العرب في بغداد خلال القرن التاسع. وقد جرى ذلك لصالح علم الفلك الذي وضعه بطلميوس، لأنه غني بالاستدلالات النظرية. وهذا ما سمح بتطور علم الفلك كعلم دقيق. غير أن هذا التقليد الهندي حافظ على تأثير لا يستهان به، في تأليف الجداول الفلكية في الغرب الإسلامي (الأندلس والمغرب)[٧].

أولاً: إدخال علم الفلك اليوناني

كنا قد أشرنا في المقدمة إلى «المجموعة الفلكية الصغيرة» الحاوية على أحد عشر مؤلفاً صغيراً باللغة اليونانية، والتي كانت تعتبر كتمهيد لقراءة مؤلّفات بطلميوس. لقد أنجزت ترجمة هذه المجموعة إلى العربية خلال القرن التاسع للميلاد من قبل علماء موثوقين أجادوا العربية واليونانية: حنين بن إسحق (المتوفى سنة ٨٧٧م)، ابنه إسحق بن حنين (المتوفى سنة ٩١١م)، ثابت بن قرة (المتوفى سنة ٩٠١م)، قسطا بن لوقا (المتوفى في أوائل القرن العاشر للميلاد)[٨].

وقد ترجمت مؤلفات بطلميوس الأربعة التي ذكرناها في المقدمة إلى العربية في القرن التاسع للميلاد أيضاً. وأهمها المجسطي بسبب التأثير الذي أحدثه[٩]. وكانت له عدة ترجمات، كما قال المؤلف ابن الصلاح في القرن الثاني عشر: «وكان قد حصل من كتاب

---

(٦) انظر: Neugebauer, Ibid., pp. 101 - 108.

(٧) انظر: Edward Stewart Kennedy and David A. King, «Indian Astronomy in Fourteenth-Century Fez: The Versified Zij of al-Qusunṭīnī,» *Journal for the History of Arabic Science,* vol. 6, nos. 1 - 2 (1982), pp. 3 - 45.

(٨) ترجمت مؤلفات إقليدس الأربعة من قبل حنين بن اسحق وثابت بن قرة. وترجم قسطا بن لوقا مؤلفات ثاودوسيوس الثلاثة. وترجم اسحق بن حنين أحد كتابَيْ أوطوليكوس، وترجم قسطا بن لوقا الكتاب الآخر، وترجم أيضاً هذا الأخير كتاب أرسطرخس وكتاب ابسقلوس. أما كتاب منالاوس فقد ترجمه حنين أو ابنه اسحق.

(٩) حول نقل المجسطي إلى العربية، انظر: Paul Kunitzsch, *Der Almagest: Die Syntaxis Mathematica des Claudius Ptolemäus in Arabisch-Lateinischer Überlieferung* (Wiesbaden: Otto Harrassowitz, 1974).

المجسطي خمس نسخ مختلفة اللغات والتراجم، منها نسخة سريانية قد نقلت من اليونانية، ونسخة ثانية بنقل الحسن بن قريش للمأمون من اليونانية إلى العربية، ونسخة ثالثة بنقل الحجاج بن يوسف بن مطر وهليا بن سرجون للمأمون أيضاً من اليونانية إلى العربية، ونسخة رابعة بنقل إسحق بن حنين لأبي الصقر بن بلبل من اليونانية إلى العربية، وهي دستور إسحق وبخطه، ونسخة خامسة بإصلاح ثابت بن قرة لنقل إسحق بن حنين»(١٠).

لقد ضاعت ثلاث من هذه النسخ: الأولى وهي النسخة السريانية المجهولة المترجم، الثانية وهي النسخة العربية للحسن بن قريش التي توجد بعض آثارها على الأخص في مؤلفات البتاني في القرن العاشر(١١)، والرابعة وهي نسخة إسحق بن حنين قبل مراجعة ثابت بن قرة لها. لدينا حالياً على شكل مخطوط(١٢) بالعربية نسختان: الثالثة التي أنجزها الحجاج حوالى (٨٢٧ ـ ٨٢٨م) بأمر من المأمون، والخامسة التي أنجزها إسحق بن حنين وراجعها ثابت بن قرة حوالى ٨٩٢م. وهاتان النسختان نقلتا من اليونانية إلى العربية. ويجب إضافة مراجعة أخرى، بل كتابة جديدة لكتاب المجسطي إلى لائحة ابن الصلاح أنجزها، بعد هذا الأخير، نصير الدين الطوسي في أواسط القرن الثالث عشر استناداً إلى نسخة إسحق ـ ثابت. وقد لقيت هذه النسخة انتشاراً واسعاً منذ ذلك العصر بين الفلكيين الناطقين بالعربية.

لنقارن بين نسختَي القرن التاسع الموجودتين لدينا. تبقى نسخة الحجاج قريبة جداً من النص اليوناني، وقد احتُفظ فيها ببنية الجملة اليونانية الأصلية في أغلب الأحيان. والمصطلحات العلمية العربية المستخدمة فيها غامضة أحياناً، وهذا ما يفرض العودة، في

---

(١٠) انظر: Ahmad Ibn Muhammad Ibn al-Ṣalāḥ, *Zur Kritik der Koordinatenüberlieferung im Sternkatalog des Almagest,* édition et traduction par Paul Kunitzsch, Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, Philologisch - Historische Klasse; Folge 3, Nr. 94 (Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht, 1975),

النص العربي، ص ١٥٥، المخطوط ص ١٢ ـ ١٨.

(١١) انظر: Kunitzsch, Ibid., pp. 60 - 64.

(١٢) لقد نشر قسم واحد من هاتين النسختين، وهو جدول نجوم المجسطي. انظر:

Claudius Ptolemaues, *L'Almageste:* édition du texte grec par J. L. Heiberg (Leipzig: Teubner, 1898-1903); traduction française par N. Halma (Paris: [s. n.], 1813 - 1816), réimprimé (Paris: Hermann, 1927); traduction anglaise: Ptolemy, *Ptolemy's Almagest,* translated and annotated by G.J. Toomer (New York: Springer - Verlag, 1984), et édition et traduction allemande de deux versions arabes du catalogue d'étoiles: Claudius Ptolemäus, *Der Sternkatalog des Almagest, Die Arabisch - mittelalterliche Tradition, I, Die Arabischen Übersetzungen,* édition et traduction de Paul Kunitzsch (Wiesbaden: Otto Harrassowitz, 1986),

نشر وترجمة الجدول إلى الألمانية تمّ من قبل بول كونيتش (Paul Kunitzsch).

عددٍ من الحالات، إلى النص الأصلي اليوناني من أجل فهم صحيح لبعض الاستدلالات، مع أنها مشروحة بالعربية. هذه العيوب، في ترجمة نص أساسي كهذا، أدت إلى إنجاز نسخة حنين - ثابت في أواخر نفس القرن، بعد خمسين سنة من العمل في علم الفلك حسب النهج الهلينستي. إن قراءة هذه الترجمة الأخيرة لكتاب **المجسطي** لا تتطلب الرجوع إلى النص اليوناني، لأن اللغة والمصطلحات العربية فيها واضحة تماماً وتسمح بالتعبير عن كل شيء دون التباس. وهكذا تكون لدينا نقطتان دقيقتان للاستدلال على أن لغةً علميةً عربيةً تكونت في علم الفلك خلال القرن التاسع بين سنة ٨٢٧م وسنة ٨٩٢م.

نحن لا نملك معلومات دقيقة عن ترجمة كتب بطلميوس الثلاثة الأخرى بمثل الدقة التي نعرفها عن ترجمة **المجسطي**. لقد ذُكر الكتاب الثاني لبطلميوس بالعربية ابتداء من منتصف القرن التاسع للميلاد على الأقل، تحت اسم **كتاب الاقتصاص** أو **كتاب المنشورات** (من قِبَل البيروني على الأخص). ونحن نملك ترجمته الوحيدة الكاملة. لكنها لم تُنشر حتى الآن. وهي التي مكنت من حفظ الأرباع الثلاثة الأخيرة من هذا المؤلَّف، التي ضاعت في اللغة الأصلية. لم يصلنا اسم المترجم. ولكن هناك إشارة، في إحدى المخطوطتين الكاملتين اللتين تحويان هذه الترجمة، إلى أن ثابت بن قرة قد صحح النص[(١٣)].

لقد ذكر ثابت بن قرة كتاب بطلميوس *Phaseis* تحت اسم **كتاب في ظهور الكواكب الثابتة**. ولكن هذا لا يكفي للتأكد من تعريب هذا الكتاب لأن ابن قرة كان يعرف اليونانية. غير أن هذه الترجمة العربية ذكرت من قبل المسعودي (المتوفى حوالى ٣٤٥هـ/ ٩٥٦م)[(١٤)]، واستُخدمت من قبل سنان بن ثابت (المتوفى سنة ٣٣٢هـ/ ٩٤٣م) في مؤلَّفه **كتاب الأنواء**[(١٥)]. لم تصلنا الترجمة العربية لهذا الكتاب، التي أُنجزت في بداية القرن العاشر على أبعد تقدير، ولكن لدينا العديد من الإسنادات إلى هذا المؤلَّف عند علماء الفلك العرب.

لقد استخدم الخوارزمي، كما رأينا سابقاً، كتاب بطلميوس **الجداول الميسرة**، وكذلك فعل من بعده قسطا بن لوقا (في منتصف القرن التاسع)[(١٦)]. ونحن نجد آثاراً لهذا الكتاب عند العديد من المؤلفين اللاحقين، ولكننا لم نعثر على ترجمته العربية ولا نعرف الظروف التي عُرّب فيها.

---

(١٣) انظر: Leiden, ms. Or. 180, fol. 1a.

(١٤) انظر: Al-Mas'ūdī, *Kitāb al-tanbīh wa'l - ishrāf*, édidit M. J. de Goeje (Lugduni - Batavorum: E. J. Brill, 1894), réimprimé (Beyrouth: Khayat, 1965); traduction française: *Le Livre de l'avertissement et de la révision*, traduit par Carra de Vaux (Paris: Imprimerie nationale, 1896), pp. 15- 16.

(١٥) انظر مقدمة البحث.

(١٦) في كتابه **هيئة الأفلاك** (أوكسفورد، مخطوطة بودلين، Seld ٣١٤٤).

يمكن أن نضيف، في إطار علم فلك بطلميوس، أن شرح ثيون الإسكندري لكتاب **المجسطي** كان موجوداً باللغة العربية في غضون القرن التاسع للميلاد، إذ إننا نجد، في مؤلّف يعقوب بن اسحق الكندي (المتوفى حوالى ٨٧٣م): **كتاب في الصناعة العظمى**، استشهادات حرفية طويلة مأخوذة عنه[١٧]. إلا أن الترجمة العربية لمؤلّف ثيون لم تصلنا.

كما قلنا سابقاً، لقد استطاع علم الفلك أن يتطور، على هذه الأسس خاصة، كعلم دقيق، ابتداء من القرن الثالث الهجري/ التاسع الميلادي في بغداد. ومن بين أوائل المؤلَّفات العربية في علم الفلك التي وصلتنا، لم يُنشر ولم يُشرح عملياً بالتفصيل حتى الآن إلا عدد ضئيل، ويجب الرجوع في أغلب الحالات إلى المصادر المخطوطة. لذلك فإن كل محاولة لعرض شامل حول هذا الموضوع لا يمكن أن تكون في الوقت الحاضر إلا عملية مؤقتة تجب إعادة النظر فيها كلما ظهرت نصوص منشورة ومشروحة بشكل جدي.

سوف نأخذ ببساطة بعض الأمثلة من أعمال أو براهين ذات مغزى لنلخص المرحلة الأولى من تطور علم الفلك العربي. وسيكون اهتمامنا، بالتحول التدريجي لنماذج الاستدلالات، أكبر من اهتمامنا بنتائج حساب مختلف وسائط حركات الكواكب، وذلك على الرغم من الأهمية الخاصة لهذه النتائج.

ثانياً: علم الفلك العربي في الشرق خلال القرن التاسع

نستطيع، لكي نعرض بداية تطور هذا العلم، أن نقسّم أعمال مختلف العلماء الذين بدأوا يشتغلون في هذا الميدان حسب المواضيع، من أبسطها إلى أكثرها إعداداً: انتشار علم فلك بطلميوس، ثم التحليل الناقد لنتائجه، وأخيراً التربيض الدقيق للاستدلالات الفلكية؛ وسوف نستعرض، في شبه ملحق لهذه الدراسة، آثار البتاني، عالم الفلك الشهير، الذي عمل في الرقة عند ملتقى القرنين التاسع والعاشر للميلاد.

١ ـ انتشار علم فلك بطلميوس

لقد أُلِّفت عدة كتب، منذ النصف الأول للقرن التاسع للميلاد، لعرض نتائج **المجسطي** بطريقة مبسطة أو لتلخيصها، وذلك لنشر مضمون هذا المؤلَّف الأساسي، في أوسع نطاق ممكن، خارج الدائرة الضيقة لعلماء الفلك المتخصصين. وقد ألف أحمد بن محمد بن كثير الفرغاني الكتاب الأكثر شهرة ضمن هذا النوع من الكتابات الفلكية. وكان

---

(١٧) حول نشر النص، انظر: أبو يوسف يعقوب بن اسحق الكندي، **كتاب في الصناعة العظمى**، تحقيق ونشر عزمي طه السيد أحمد (قبرص: دار الشباب، ١٩٨٧)، وحول تحليل النص، انظر:
Franz Rosenthal, «Al-Kindi and Ptolemy,» in: *Studi orientalistici in onore di G. Levi Della Vida* (Rome: [n. pb.], 1956), tome 2, pp. 436 - 456.

الكتاب الأكثر انتشاراً باللغة العربية في أول الأمر (يدل على ذلك العدد الكبير لمخطوطاته التي أُحصيت في كل العصور وفي كل المناطق). ثم انتشر باللغة اللاتينية (إذ أُنجزت له ترجمتان متتاليتان في القرن الثاني عشر للميلاد). وقد نُقل هذا الكتاب بعدة اسماء أكثرها استخداماً هو كتاب في جوامع علم النجوم[١٨].

ونحن لا نعرف إلا القليل عن الفرغاني الذي عمل ضمن فريق العلماء الذي جمعه المأمون (٨١٣ ـ ٨٣٣م)، وتوفي بعد سنة ٨٦١م. وقد ألّف كتابه، على الأرجح، بعد سنة ٨٣٣م وقبل سنة ٨٥٧م. والكتاب عبارة عن موجز في علم الكون، وتحتوي النشرة التي أخرجت منه على حوالى مئة صفحة. يعرض فيه الفرغاني في ثلاثين فصلاً كيف يظهر الكون حسب النتائج التي حصل عليها بطلميوس. والكتاب وصف بحت لا يتضمن أي برهان رياضي، نجد فيه على التوالي وصفاً لمختلف حسابات الأشهر والسنين وفقاً للتقاويم العربية والسريانية والبيزنطية والفارسية والمصرية، وتبريراً لكروية السماوات والأرض وأن الأرض ثابتة في مركز الكون في حين أن للسماء حركتين دائريتين. كما نجد فيه إثباتاً لوضع فلك البروج المائل بالنسبة إلى خط الاستواء، ووصفاً للقسم المسكون من الأرض مع الأقاليم السبعة ومختلف المناطق والمدن. كما نلقى فيه وصفاً لأبعاد الأرض، ولحركة «الكواكب المتحيّرة» السبعة في الطول والعرض المبينة بهيئات الأفلاك الخارجة المراكز وأفلاك التداوير. كما نجد فيه وصفاً لحركة مبادرة الاعتدالين للكواكب الثابتة ولأبعاد الكواكب ومسافاتها إلى الأرض، وللبزوغات والأفولات الشروقية والغروبية، ولأوجه القمر واختلاف منظره ولخسوفات القمر والشمس.

وهكذا تعرّض هذا الكتاب إلى المسائل الرئيسة في علم الفلك القديم، وهذا ما يفسر وجود عدة شروحات له من قبل علماء رفيعي المستوى، ومنهم البيروني خاصة[١٩]. يكاد يكون بطلميوس مصدر الفرغاني الوحيد، ولكنه صحّح لبطلميوس عدة نقاط تبعاً للنتائج التي حصل عليها علماء فلك المأمون. وقد تجلى ذلك في تصحيح ميل فلك البروج من 51 ;23 إلى 33 ;23، وفي التأكيد أن أوجَي الشمس والقمر يتبعان حركة مبادرة الاعتدالين للنجوم الثابتة، وفي استخدام قياس دائرة الأرض الذي تم في عهد المأمون. بالإضافة إلى ذلك، أكد الفرغاني أن بطلميوس لم يحسب سوى أبعاد الشمس وأبعاد القمر

---

(١٨) ضاع هذا الشرح الذي يحوي ٢٠٠ صفحة.

(١٩) انظر: الفرغاني، **كتاب في الحركات السماوية وجوامع علم النجوم**، نشر النص العربي Golius ([امستردام: د. ن.، ١٦٦٩])؛ النص اللاتيني: Al-Farghānī: *Al Farghani Differentie scientie astrorum*, edited by Francis J. Carmody (Berkeley, Calif.: [n. pb.], 1943), et celle de Gérard de Crémone: *Alfragano (al-Fargānī) Il 'Libro dell'aggregazione dell stelle'*, publicato con introduzione e note da Romeo Campani, Collezione di Opuscoli Danteschi inediti o rari; 87 - 90 (Città di Castello: S. Lapi, 1910).

والمسافة بينهما، وهذا ما يدل على أنه كان مطلعاً على **المجسطي** فقط وليس على كتاب **الاقتصاص**. ثم أعطى قيماً عددية مطابقة لتلك الموجودة في الكتاب الأخير، دون أن يذكر مصدرها.

وقد وصلتنا كتب أخرى أُلِّفت بطريقة مماثلة، نذكر منها خاصة كتاباً ما زال غير منشور لقسطا بن لوقا، وكتابين بمستوى علمي أرفع لثابت بن قرة، وهي تتمحور خاصة حول حركات الكواكب وتعيد الأخذ باستدلالات القسم الأول من كتاب **الاقتصاص**[٢٠].

لقد أشاعت هذه النصوص علم الفلك وجمعت نتائجه بشكل مبسط، فأدت إلى «تعميم جيد المستوى» أُنجز من قبل محترفين في علم الفلك وانتشر بين الأوساط المثقفة في ذلك العصر. وقد اتُّبع هذا النهج في كل موجزات **المجسطي** التي كتبها مؤلفو الموسوعات كابن سينا الذي أدخل موجزه لكتاب **المجسطي** في كتابه الفلسفي الكبير **الشفاء**.

٢ ـ التحليل النقدي لنتائج بطلميوس

ما إن تُرجم **المجسطي** إلى اللغة العربية في عهد المأمون حتى بدأ العمل للتحقق من النتائج التي وردت فيه. ولأجل ذلك وُضع أول برنامج للأرصاد الفلكية في بغداد ودمشق، كما أشرنا في المقدمة. وقد انقضت سبعمئة سنة تقريباً بين زمن بطلميوس وزمن علماء فلك المأمون الذين وجدوا في **المجسطي** بياناتٍ للحسابات وجداول تسمح نظرياً بحساب مواضع الكواكب في وقت معين. وقد تمت المقارنة بين هذه الحسابات التي أُجريت قبل سبعمئة سنة وبين معطيات الأرصاد المسجلة في بغداد ودمشق، فظهر تباين بين مجموعتَي الأرقام التي حُصل عليها.

وقد حمل هذا التباين الحتمي، بسبب تلك الفترة الطويلة من الزمن، علماء بغداد ليس إلى «إعادة عقارب الساعة إلى مواضعها» فحسب، أي إلى تصحيح كل سطر من سطور الجداول واستخدامها من جديد كما هي، بل إلى القيام بمراجعة نظرية لنتائج بطلميوس لإعادة النظر في طرق العمل نفسها التي اقترحها وإعادة حساب وسائط مختلف الحركات. لنأخذ ثلاثة أمثلة شاهدة على هذا العمل ابتداءً من القرن التاسع: **الزيج المُمتحَن**، وكتاب **في سَنة الشمس**، وأعمال حبش الحاسب.

---

(٢٠) انظر: Thābit Ibn Qurra, *Œuvres d'astronomie,* texte établi et traduit par Régis Morelon (Paris: Les Belles lettres, 1987), traités 1 et 2,

نص قسطا بن لوقا مذكور في الحاشية رقم (١٦).

أ ـ الزيج الممتحَن

تطلق عبارة «الزيج الممتحن» بمعناها العام على مجموعة من الجداول موضوعة استناداً إلى أرصاد مضمونةٍ علمياً إلى أبعد حد ممكن. ولكن عندما ترد هذه العبارة دون أي تحديد، يُقصد بها المجموعة الأولى باللغة العربية من الجداول الفلكية المستندة إلى أرصاد منجزة في مرصدَي بغداد ودمشق. وكان المأمون قد كلف يحيى بن أبي منصور (ت ٢١٧هـ/ ٨٣٢م) بتنسيق هذا العمل الشامل. وكان لهذه الجداول تأثير كبير لأنها حوت أول سلسلة من الأرصاد العلمية الدقيقة المسجلة منذ عهد بطلميوس حسب نفس النهج الفلكي الهلينستي. وقد استشهد بها بشكل واسع الفلكيون اللاحقون الناطقون باللغة العربية، نذكر منهم على سبيل المثال ابن يونس والبيروني.

لم يصل إلينا النص الأصلي الكامل لِـ «الزيج الممتحَن»[٢١]، إلا أن النتائج التي سُجلت فيه والتي استُشهد بها بشكل جزئي من قِبَل مؤلفين لاحقين تدل على أن الوسائط المختلفة لحركات الكواكب قد حُسبت فيها من جديد[٢٢]. ولكن أهم نتيجة لأرصاد هذه الجداول تخص حركة الشمس: إذ إنها تدل على أن أوج فلك الشمس مرتبط بحركة مبادرة الاعتدالين للنجوم الثابتة، بعكس ما أكده بطلميوس الذي كان يعتبر أن هذا الأوج لا يخضع لأية حركة أخرى غير الحركة اليومية[٢٣].

ونحن لا نستطيع حالياً أن نُثبت، بشكل واضح، وجود صلة بين هذه النتيجة لـ «الزيج الممتحَن» وبين **كتاب في سَنة الشمس**، مع أننا نجد في هذا الكتاب الأخير البرهان على العلاقة بين حركة الشمس وحركة النجوم الثابتة.

---

(٢١) النص العربي Escurial (٩٢٧) يحمل بوضوح العنوان «الزيج الممتحن حسب أرصاد المأمون»، ولكنه يحوي كثيراً من العناصر المتأخرة عن القرن التاسع. انظر تحليل هذا النص في:
Juan Vernet, «Las Tabulæ Probatæ,» in: *Homenaje a Millás - Vallicrosa,* 2 vols. (Barcelona: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1954 - 1956), vol. 2, pp. 501 - 522, and Edward S. Kennedy, «A Survey of Islamic Astronomical Tables,» *Transactions of the American Philosophical Society* (N.S.), vol. 46 (1956), pp. 145 - 147.

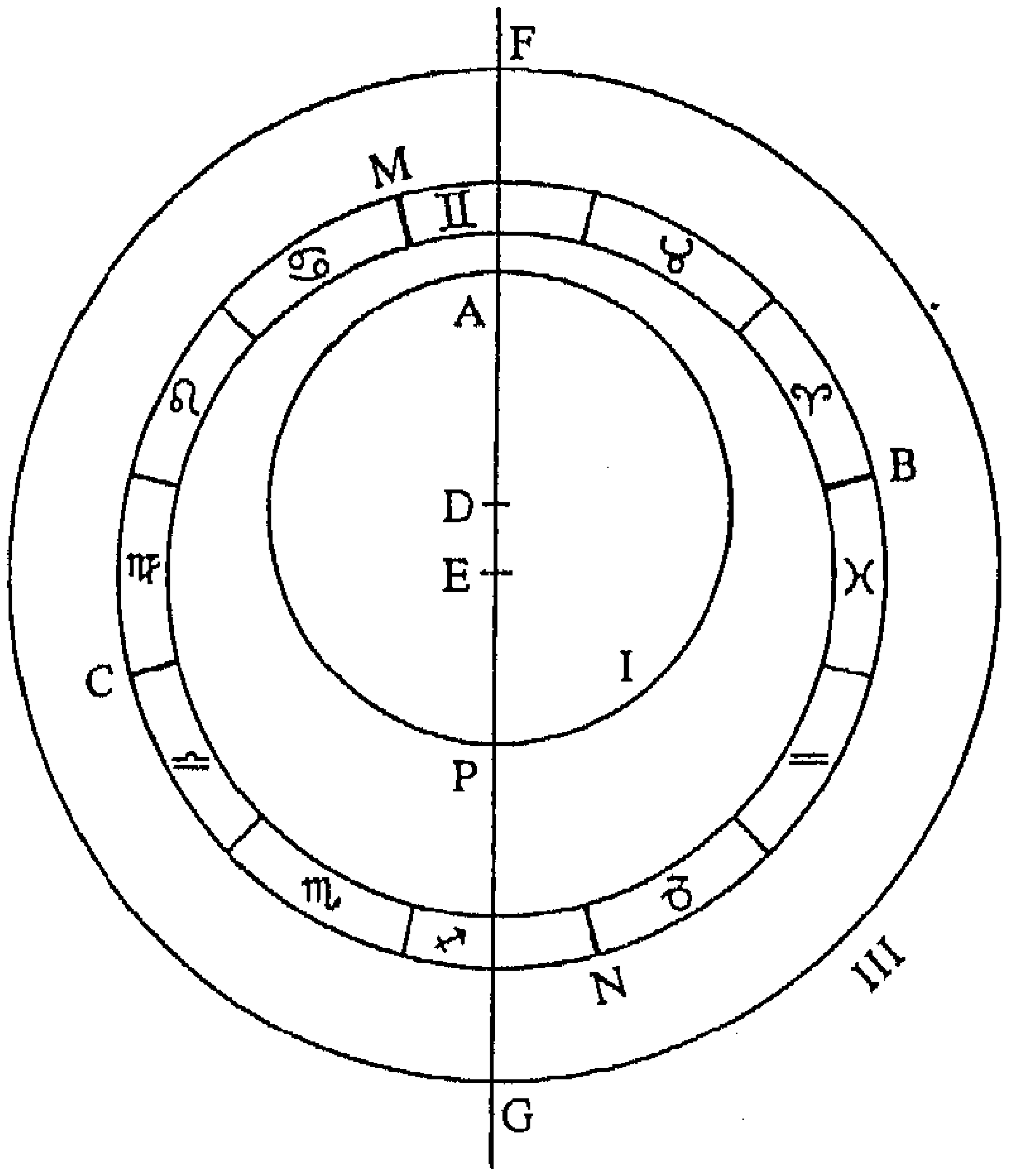
(٢٢) هي مجمعة على شكل جدول في: 'Ali Ibn Sulaymān al-Hāshimī, *The Book of the Reasons behind Astronomical Tables = Kitāb fi 'ilal al-zījāt,* reproduction of the unique arabic text contained in the Bodleian ms. arch. Seld A. 11, with a translation by Fuad I. Haddad and E. S. Kennedy and a commentary by David Pingree and E. S. Kennedy, Studies in Islamic Philosophy and Science (Delmar, N. Y.: Scholar's Facsimiles and Reprints, 1981), pp. 225 - 226.

(٢٣) ذكر في: Thābit Ibn Qurra, *Œuvres d'astronomie,* traité 2, p. 22, lignes 4 - 5, and الفرغاني، **كتاب في الحركات السماوية وجوامع علم النجوم**، ص ٥٠ ـ ٥٣.

ب ـ كتاب في سَنة الشمس(٢٤)

تنسب المخطوطات هذا الكتاب إلى ثابت بن قرة، ولكن التحليل النقدي الدقيق للنص يبين أنه سابق لهذا المؤلِّف، وأنه قد كُتب على الأرجح في إطار فريق العمل الذي تكون حول بني موسى قبل انضمام ثابت بن قرة إلى هذا الفريق، أي قبل منتصف القرن التاسع.

ينتقد مؤلف هذا الكتاب دراسة بطلميوس لحركة الشمس وحساب السنة. لنذكر بسرعة مضمون **المجسطي** بهذا الصدد.



الشكل رقم (٢ ـ ١)

لتكن E النقطة التي يوجد فيها الراصد على الأرض الثابتة في مركز الكون. تتحرك الشمس بحركة دائرية مستوية على دائرة خارجة المركز بالنسبة الى الأرض وهي الدائرة (I) ذات المركز D. توجد على هذه الدائرة نقطتان مهمتان هما الأوج A والحضيض P. والنقطة E هي كذلك مركز فلك البروج الذي هو الدائرة (II) أي مسار الشمس الظاهري في السماء على مدى السنة. والنقط المرجعية على فلك البروج هي نقطتا الاعتدال B وC

(٢٤) النص العربي لهذا المؤلف منشور في: Thābit Ibn Qurra, Ibid., pp. 26 - 27,
انظر مقدمته، من ص ilvi الى صفحة lxxv، وملحقاته ص ١٨٩ ـ ٢١٥ حيث فصلت الحجج الملخصة هنا.

ونقطتا الانقلاب M وN. يقطع المستوي المشترك لهاتين الدائرتين كرة الكواكب الثابتة وفق الدائرة (III) المرتكزة في النقطة E أيضاً.

تُتم الشمس في سنة واحدة دورة كاملة على فلكها الخارج المركز (I)، بحركة مستوية دورية. إن مدة هذه الدورة ثابتة مهما كانت نقطة الانطلاق، ومساوية لقيمة «السنة الاختلافية»، أي للوقت اللازم لعودة الشمس إلى نفس النقطة من فلكها. هذه القيمة هي الوحيدة التي يمكن اعتبارها كثابتة مرجعية، غير أنها غير قابلة للقياس مباشرة ابتداء من النقطة E، لأن الفلك الخارج المركز لا يحوي أي عنصر مرجعي كافي الدقة. ويجب على الراصد أن يحدد بشكل واضح موقع الدائرة (I) بالنسبة إلى الدائرة (II) وإلى الدائرة (III).

عندما نرصد من النقطة E حركة الشمس على الفلك (II) ونقيس فترة الزمن التي تفصل بين مرورين متتاليين للشمس في نفس النقطة، نقطة الاعتدال الربيعي مثلاً، نحصل على قيمة «السنة المدارية».

أما إذا راقبنا من النقطة E حركة الشمس على الدائرة (III) وقسنا فترة الزمن التي تنقضي بين قِرانين متتاليين للشمس مع نفس النجمة، نحصل على قيمة «السنة النجمية».

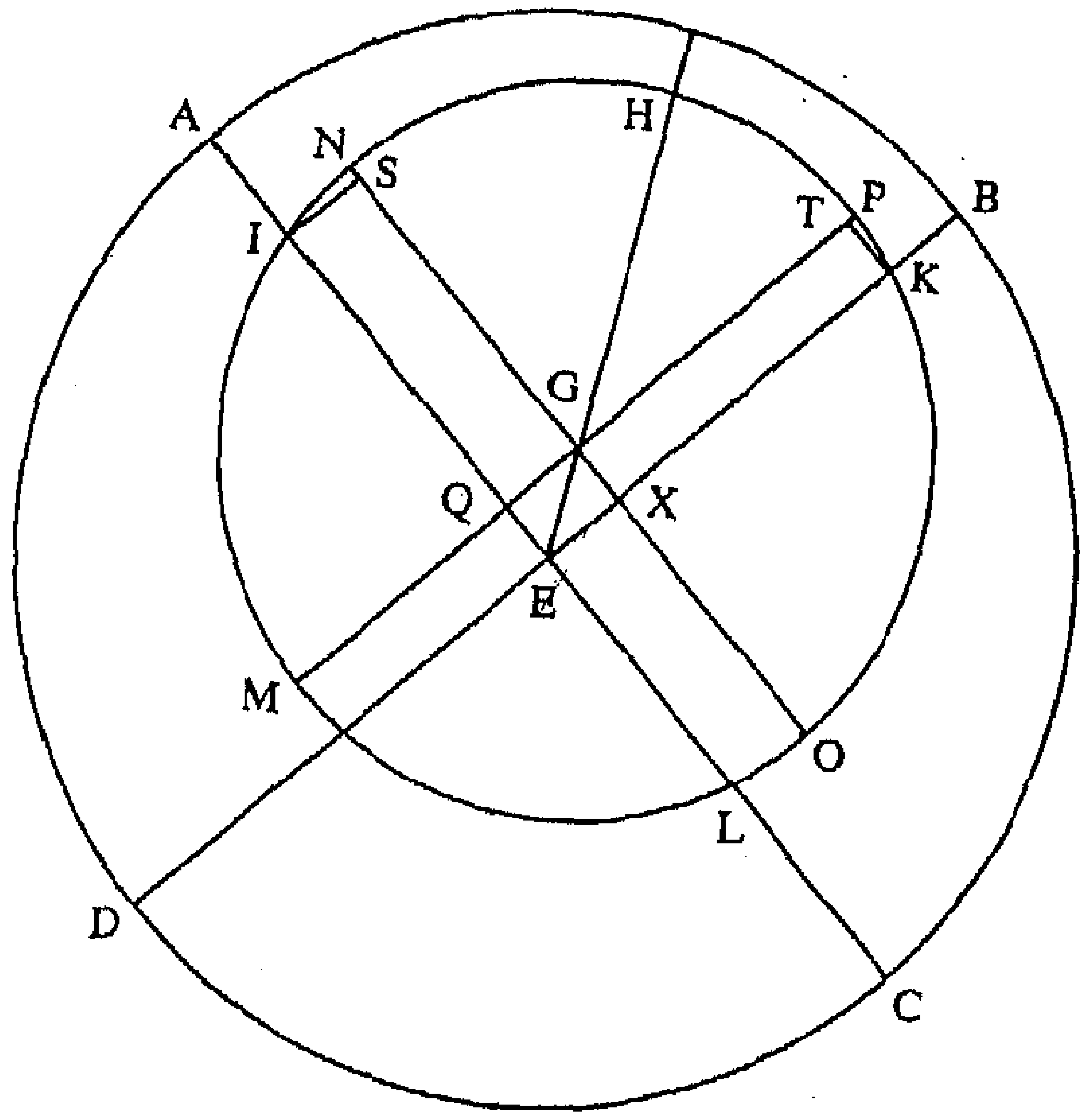
ولو كانت الدوائر الثلاث (I) و(II) و(III) ثابتة بالنسبة إلى بعضها لأصبحت القيم الثلاث للسنة الشمسية المعرفة سابقاً متساوية تماماً. وهي في الواقع ليست كذلك. لذلك كانت المسألة بالنسبة إلى علماء الفلك القدامى هي كيفية تحديد الثابتة المطلقة الوحيدة، أي قيمة «السنة الاختلافية» على الفلك (I)، وذلك انطلاقاً من رصد الحركة غير المستوية للشمس على الفلكين (II) و(III).

إن المقالة الثالثة في **المجسطي** مخصصة لدراسة حركة الشمس. وقد تحقق فيها بطلميوس أولاً، تابعاً بذلك أبرخس، أن «السنة النجمية» أطول بقليل من «السنة المدارية»، ولكنه ركز جهده على هذه الأخيرة ليبين أنها الثابتة المطلقة المطلوبة. ثم طابق قيمة «السنة المدارية» مع قيمة السنة الاختلافية، وذلك بجعل الفلك (I) ثابتاً بالنسبة الى الفلك (II)، وجعل الفلك (III) يتحرك بالنسبة اليهما بحركة مبادرة الاعتدالين التي قدرها بطلميوس بدرجة واحدة في القرن الواحد.

يستند بطلميوس على الشكل التالي لحساب وسائط فلك الشمس الخارج المركز:

يوجد الراصد في النقطة E مركز الدائرة ABCD التي هي فلك البروج. والدائرة MNOP ذات المركز G هي الفلك الخارج المركز الذي تتحرك عليه الشمس. A وC هما نقطتا الاعتدالين، وB هي نقطة الانقلاب الصيفي. أما الخطان المستقيمان MQGP وNGXO فهما متوازيان ترتيباً لـ DEB وAEC، والخط المستقيم EGH يقطع الفلك الخارج المركز في نقطة H التي هي أوجه. إن قياس لحظات مرور الشمس في النقط A، B وC يسمح بعد حساب بسيط مستند على الحركة الوسطى للشمس، بالحصول على قيم أقواس

الفلك الخارج المركز: IL، IK، KL، IN، PK، LO، وهذا ما يسمح بحساب كل الوسائط. وهكذا وجد بطلميوس، بعد قسم شعاع الفلك الخارج المركز إلى 60 جزءاً متساوياً، أن قيمة خروج المركز EG تساوي 2;30 جزءاً وأن الأوج يقع على بعد 5;30° من الجوزاء ويبقى ثابتاً على فلك البروج. ووجد كذلك أن طول «السنة المدارية» (أي الفترة اللازمة لرجوع الشمس إلى نفس النقطة على فلك البروج) ثابت ومساوٍ لـ 365;14,48 يوماً.



الشكل رقم (٢ ـ ٢)

لقد تحقق مؤلف كتاب **في سنة الشمس** على أثر الارصاد التي أُنجزت في بغداد بين سنة ٨٣٠م وسنة ٨٣٢م ، أي حوالى ٧٠٠ سنة بعد **المجسطي** و٩٥٠ سنة بعد إبرخس، أن أوج الشمس يقع على بعد 20;45° من الجوزاء، وأن هذا التحرك بمقدار 15;15° منذ زمن أرصاد إبرخس مماثل للتحرك الناتج عن حركة مبادرة الاعتدالين للنجوم الثابتة الذي بلغ 13;10° من قلب الأسد، إذا ما اعتبرنا أخطاء الأرصاد التي كان الكاتب مدركاً لها تماماً. وهذا ما أدى به إلى الربط بين الدائرتين (I) و(III) في الشكل رقم (٢ ـ ١) وإلى الاستنتاج بأن أوج الفلك الخارج المركز خاضع لحركة مبادرة الاعتدالين. وهكذا فإن السنة الاختلافية لا تطابق السنة المدارية بل السنة النجمية التي هي الثابتة المطلقة الوحيدة. ولكن هذه السنة النجمية ليست إلا مرجعاً نظرياً، ويجب أن يستنتج منها قيمة السنة المدارية التي هي المرجع العملي الوحيد الذي يسمح بتحديد الوقت الأرضي على مدى السنة.

وبما أن الفلك الخارج المركز يتحرك بالنسبة إلى فلك البروج، لا يمكن قياس طول السنة المدارية مباشرة بقياس فترة الزمن الفاصلة بين مرورين متتاليين للشمس في نفس

النقطة على فلك البروج. ولا يتم الحصول على طول هذه السنة المدارية إلا نتيجة لحساب يُنجز استناداً إلى قيمة السنة النجمية وإلى قيمة ثابتة مبادرة الاعتدالين. في الواقع، إذا نظرنا إلى الحركة الوسطى للشمس على الفلك الخارج المركز ابتداءً من الأوج، نجد أن هذا الأخير يتحرك قليلاً بسبب حركة مبادرة الاعتدالين. لكل من هاتين الحركتين قيمة ثابتة. ويجب الجمع بينهما إذا أردنا نسبة الحركة الوسطى إلى فلك البروج.

وهكذا يرفض مؤلف كتاب في سنة الشمس بشكل قاطع نتائج بطلميوس وحساباته ويشك بجودة أرصاده: إنه يقارن أرصاد بطلميوس بأرصاده وبأرصاد إبرخس، ويستنتج من ذلك ضرورة رفض نتائج أرصاد بطلميوس. ويختم كما يلي انتقاده العنيف: «ولكن بطلميوس، مع ما أوهم في أخذه زمان سنة الشمس من نقط فلك البروج، أوهم في الأرصاد أنفسها، ولم يأخذها على حقيقة، وكان هذا من وهمه أعظم ضرراً فيما رسم من الحساب»[٢٥].

ويعتبر هذا المؤلف، على الرغم من انتقاداته، أن بطلميوس لا يزال ذلك العالم الذي توصل إلى إعداد أحسن طريقة هندسية تسمح بحساب وسائط فلك الشمس. لذلك يأخذ المقالة الثالثة من المجسطي، ويستشهد بها مطولاً متبنياً طريقته الهندسية، ويعيد تأليف هذا الكتاب مغيراً تصميمه آخذاً بكل محتواه، مستنداً على أرصاد إبرخس وأرصاده الخاصة فقط. وهو يعتمد في حسابه لوسائط فلك الشمس على الشكل السابق رقم (٢ ـ ٢)، الذي هو شكل بطلميوس، ولكنه يغير اتجاه الأرصاد: فبالنسبة إليه النقطتان A وC ليستا نقطتي الاعتدالين، والنقطة B ليست إحدى نقطتي الانقلاب. ويبرر ذلك بقوله: «ولعسر أرصاد الانقلابات لا نُدخل في قياساتنا الثلاثة شيئاً من أرصاد الانقلابات. وأما بطلميوس، فإنه أدخل في القياسات الثلاثة، التي عرف بها اختلاف الشمس، قياس المنقلب الصيفي، ولسنا نرى ذلك، بل نظن أنه من قلة التوقّي في الزلل والخطأ»[٢٦].

في الواقع، إن تغيّر الميل الزاوي للشمس ضعيف جداً عندما تكون الشمس على وشك المرور في إحدى نقطتي الانقلاب، لذلك كان من الصعب تحديد لحظة مرور الشمس في هذه النقطة بشكل مضبوط. وهكذا عمد مؤلف الكتاب إلى إزاحة الأرصاد الثلاثة بمقدار 45°، فقاس مرور الشمس على فلك البروج في منتصف برج الدلو وفي منتصف برج الثور وفي منتصف برج الأسد. ثم تبع طريقة المجسطي في الحساب بعد «تحديثها»، أي أنه استخدم جيوب الأقواس بدلاً عن أوتارها[٢٧]، فحصل على النتائج التالية[٢٨]:

(٢٥) انظر: المصدر نفسه، الكتاب ٣، ص ٦١.

(٢٦) انظر: المصدر نفسه، الكتاب ٣، ص ٤٩.

(٢٧) انظر الفصل الخامس عشر من الجزء الثاني من هذه الموسوعة وهو بعنوان: «علم المثلثات: من الهندسة إلى علم المثلثات».

(٢٨) النتائج المعطاة بين قوسين حُسبت من جديد في زمنها (سنة ٨٣٠).

موقع أوج الشمس: على بعد 20;54° من برج الجوزاء (22;53°).

ثابتة مبادرة الاعتدالين: 0;0,49,49,39° في السنة (0;0,50,1).

السنة النجمية: 365;15,23,34,33 يوماً (365;15,22,53,59).

السنة المدارية: 365;14,33,12 يوماً (365;14,32,9,20).

خروج مركز الفلك الشمسي: 2;6,40.

إن النتائج السابقة جيدة الدقة، إذا اعتبرنا إمكانيات الرصد في ذلك الوقت. إضافة إلى ذلك، يلعب **كتاب في سنة الشمس** دوراً بالغ الأهمية في فهم كيفية حصول التطور الأول لعلم الفلك العربي، انطلاقاً من إرث بطلميوس. لقد حُرّر هذا الكتاب منذ النصف الأول للقرن التاسع للميلاد، أي بعد فترة بسيطة من ترجمة **المجسطي** من قبل الحجاج. وهو يستشهد بكتاب **المجسطي**، بشكل واسع، على طول ما يزيد على ثلث نصه. إنه يُظهر كيف درس بعض علماء الفلك العرب من الجيل الأول هذا النص الأساسي الذي هو **المجسطي**، ويبين عدداً من التجديدات العلمية التي اعتُبرت مكتسبة استناداً إلى هذا العمل.

وإذا حاولنا تلخيص ما ورد سابقاً، نرى أن المؤلف قد اكتشف من ناحية، أن بطلميوس قد ارتكب أخطاء حسابية، وخاصة في ثابتة مبادرة الاعتدالين، ومن ناحية أخرى أن أرصاد بطلميوس أقل صدقية من أرصاد إبرخس، ولذلك طرح جانباً أرصاد بطلميوس ونتائجها. وبعد أن تحقق من تحرّك أوج الشمس ومن علاقته بحركة مبادرة الاعتدالين، أعدّ طريقة تسمح له بتحديد الوقت اللازم لعودة الشمس إلى القران مع نفس النجمة، وذلك لحساب السنة النجمية. لقد احتفظ باستدلالات بطلميوس الهندسية وبكل المواد المعالجة في المقالة الثالثة من **المجسطي** بعد تعديل بسيط لتصميم الكتاب، وذلك بتغيير محل فصلين منه، ثم أعاد تركيب كل هذه العناصر. نظراً الى النتيجة، يظهر أن تأليف **كتاب في سنة الشمس** لم يكن عملاً معزولاً، بل كان جزءاً من مشروع واسع هدف إلى إعادة كتابة **المجسطي**، مع الإبقاء على بنيته واستدلالاته النظرية، ومع حذف أرصاد وحسابات بطلميوس. وقد احتفظ المؤلف بأرصاد إبرخس ليقارنها بنتائج الأرصاد الجديدة التي أنجزت في بغداد أو دمشق، وابتكر طرقاً جديدة للحساب انطلاقاً من الأسس النظرية التي اقترحها بطلميوس(٢٩). لا يُعرف إلى أي حد تمت فيه متابعة مشروع هذا **المجسطي الجديد**، ولكن محتوى الكتاب الذي تحدثنا عنه وبنيته يظهران بوضوح أن هذا العمل الكبير قد وُضع موضع التنفيذ في بغداد في النصف الأول من القرن التاسع للميلاد، ضمن إطار المدرسة التي تكونت حول بني موسى.

ونستطيع كذلك أن نُحصي، في **كتاب في سنة الشمس**، عدداً من التجديدات التي

---

(٢٩) انظر تفصيل هذا الاستدلال في: Thābit Ibn Qurra, Ibid., pp. lx - lxiii.

أخذ بها الفلكيون اللاحقون. قبل كل شيء، لقد أصبح مقرراً، بعد تحرير هذا الكتاب، أن أوج فلك الشمس يتحرك بالنسبة الى فلك البروج، وأنه يجب إقامة علاقة بين السنة النجمية، وثابتة مبادرة الاعتدالين والسنة المدارية (ولكن يجب انتظار عالِم الفلك الأندلسي الزرقالي، في آخر القرن الحادي عشر للميلاد حتى تُحسب حركة أوج الشمس الخاصة الإضافية التي تبلغ 19 دقيقة في القرن). بعد ذلك، إن مؤلف الكتاب، بعكس ما فعله بطلميوس، يربط حركة أوج فلك الشمس وحركة أوج فلك القمر إلى حركة مبادرة الاعتدالين لكرة النجوم الثابتة على غرار حركة أوج فلك أي كوكب آخر. وهكذا، فإن كرة النجوم الثابتة تسبب، بحركتها، حركة كل الكرات السماوية. وبذلك لم يعد للشمس ولا للقمر وضع خاص في الكون، ويصبح فلك البروج مجرد دائرة نظرية يجب إبعادها إلى ما وراء كرة النجوم الثابتة، أما وضعها فهو قابل للتعيين بواسطة مرور الزمن الأرضي وتواتر الفصول. وأخيراً، فإن إزاحة اتجاهات أرصاد الشمس الثلاثة بمقدار 45°، التي أُجريت لتجنب الأخطاء في قياس نقطتي الانقلاب، قد اعتُمدت من قِبَل علماء الفلك اللاحقين في حسابهم لوسائط حركة الشمس(٣٠).

ج ـ أعمال حَبَش الحاسب

لا نعرف إلا القليل عن حياة حبش الذي كان أحد علماء فلك المأمون. لقد كان حياً في سنة ٢٥٤هـ/ ٨٥٩م، إذ إن حساباً قد نسب إليه في تلك السنة، ولا نعرف وقت وفاته. وقد نُشر له مؤلف واحد غير كامل، وهو كتاب صغير في أبعاد ومسافات الكواكب، محفوظ جزئياً في مخطوطة وحيدة(٣١). وقد حُفظ له مؤلف كبير هو **الزيج الدمشقي**، في نسختين مختلفتين إحداهما في إسطنبول والثانية في برلين. من الواضح أن مخطوطة برلين قد غُيرت من قبل أيدٍ لاحقة. أما مخطوطة إسطنبول، فيبدو أن نصها قريب بما فيه الكفاية من نص حبش الأصلي. وهي لم تُنشر بعد(٣٢).

يندرج هذا المؤلف ضمن تقليد بطلميوس، ولكن ليس المقصود من تأليفه إعادة كتابة

---

(٣٠) انظر التعليق حول هذه النقطة، في: Otto Neugebauer, «Thābit ben Qurra *«On the Solar Year»* and *«On the Motion of the Eighth Sphere»*,» *Proceedings of the American Philosophical Society,* vol. 106, no. 3 (June 1962), pp. 274 - 275.

(٣١) انظر: Y. Tzvi Langermann, «The Book of Bodies and Distances oh Ḥabash al-Ḥāsib,» *Centaurus,* vol. 28 (1985), pp. 108 - 128.

(٣٢) لقد حللت ديبارنو محتوى هذه المخطوطة بالتفصيل. انظر: Marie - Thérèse Debarnot, «The Zīj of Ḥabash al-Ḥāsib: A Survey of MS Istanbul Yeni Cami 784/2,» in: David A. King and George Saliba, eds., *From Deferent to Equant: A Volume of Studies in the History of Science in the Ancient and Medieval Near East in Honor of E. S. Kennedy,* Annals of the New York Academy of Sciences; v. 500 (New York: New York Academy of Sciences, 1987), pp. 35 - 69.

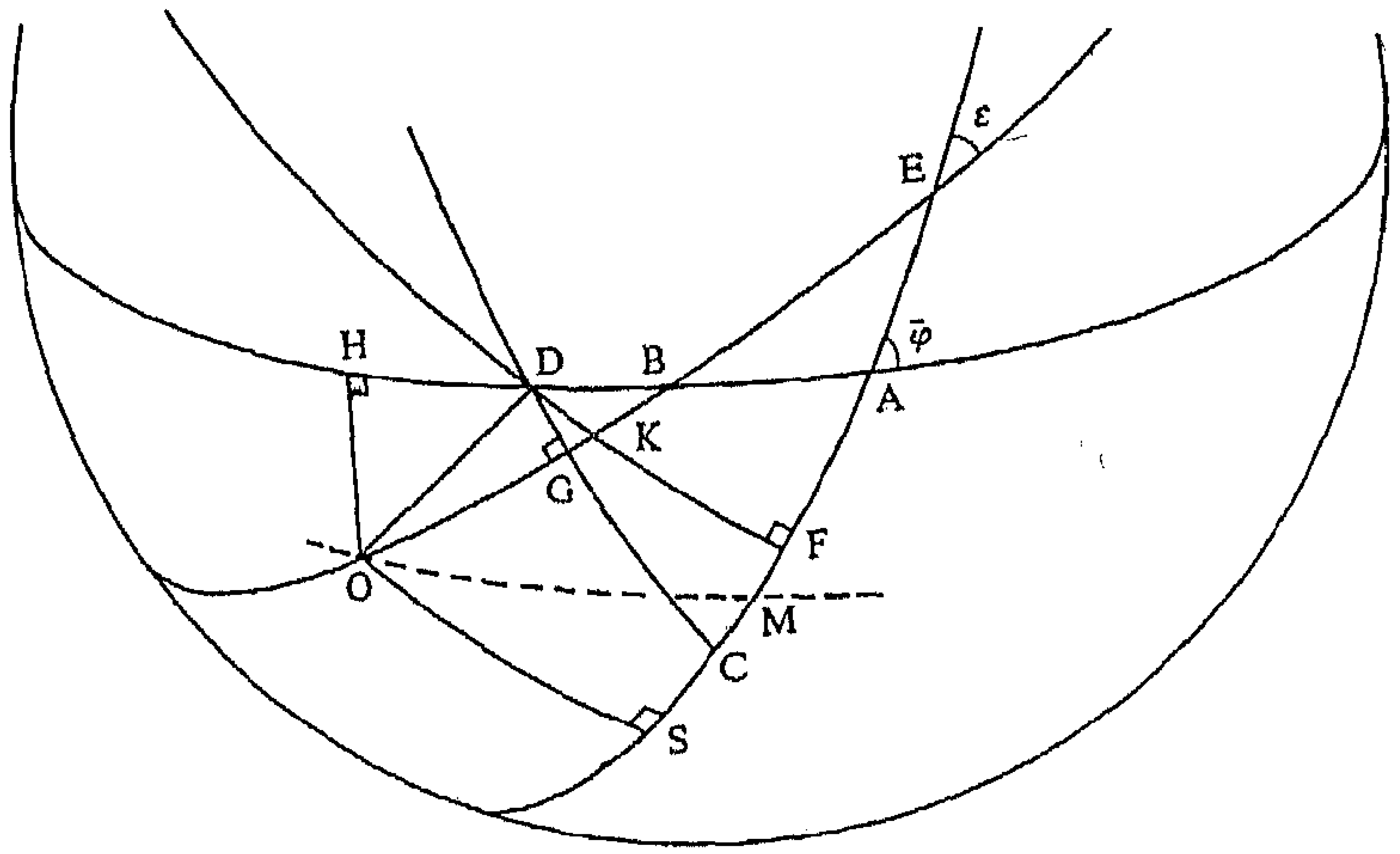
المجسطي، كما كان المقصود جزئياً من تأليف **كتاب في سنة الشمس**. لقد أخذ حبش من **المجسطي** ببساطة كل ما كان يبدو له قابلاً للتغيير تبعاً لدراساته الخاصة ولنتائج أولى الأعمال الفلكية النظرية المنجزة في بغداد ودمشق. وهكذا تجب دراسة هذا الكتاب بشكل موازٍ لدراسة **المجسطي**، لأنه لا يهدف إلى أن يكون بديلاً عن الكتاب الأخير. إن قسماً مهماً من **الزيج الدمشقي** يبحث في حساب المثلثات: إذ يعمد حبش الحاسب فيه إلى «تحديث» استدلالات **المجسطي** بإدخال الجيوب وجيوب التمام والظلال مكان أوتار الأقواس، ويقترح صيغاً كاملة للتطبيق في الحسابات الفلكية المختلفة. وسنرى كل هذا بالتفصيل فيما بعد في الفصل الخامس عشر: علم المثلثات. سنستعرض الآن بعض نقاط علم الفلك البحت الواردة في الكتاب.

يبحث القسم الأول في علم التواريخ وفي الانتقال بين التقاويم المختلفة ـ من هذه التقاويم الفارسي والمصري واليوناني والهجري، . . . الخ. ـ وذلك لحساب التواريخ الموافقة في التقاويم المختلفة لتاريخ معين مع إعداد جداول التوافق بينها. بالإضافة إلى ذلك، عمد حبش الحاسب إلى كتابة جداول حركات النجوم استناداً إلى السنة القمرية التي أعاد حسابها بعناية كبيرة، إذ إنها السنة الرسمية في مجتمعه. ولكن علماء الفلك العرب لم يسلكوا هذا النهج لأن السنة القمرية، في مجال الحسابات والاستدلالات الفلكية، أقل ملاءمة بكثير من السنة الشمسية ذات الأشهر المتساوية بطول يبلغ ثلاثين يوماً والمستخدمة في عالم بطلميوس الهلينستي وفي بلاد الفرس.

يقارن حبش الحاسب، على امتداد كتابه، الوسائط التي حسبها بطلميوس لحركات مختلف الكواكب، مع حساباته الخاصة، ويعدل تبعاً لذلك، بطريقة منهجية، تركيب كل جدول من جداوله، دون أن يتطرق ثانية إلى المظهر النظري للهيئات الهندسية. ولكن أهم تجديد نظري لحبش الحاسب يكمن في دراسته إمكانية رؤية هلال القمر. لم تعالَج مسألة إمكانية رؤية هلال القمر في علم الفلك اليوناني، ولكن بعض طرق الحساب قد أُعدت من أجل هذا الغرض في علم الفلك الهندي. وقبل أن نعرض الحل الذي اعتمده حبش الحاسب، سنذكر حلّين سابقين له تبعاً لمختلف العناصر المرجعية على الكرة السماوية.

إن لكل من الشمس والقمر، في وضع الأرض الثابتة في مركز الكون، «حركة خاصة» يومية في الاتجاه المعاكس لاتجاه الحركة النهارية، ومقدار حركة الشمس ينقص قليلاً عن درجة واحدة، أما حركة القمر فتُقدّر بثلاث عشرة درجة من جهتي فلك البروج (قوس العرض الأقصى للقمر يساوي خمس درجات). وهكذا «يلحق» القمر بالشمس كل شهر ويتجاوزها، فيصبح الهلال مرئياً من جديد على الأفق الغربي تماماً بعد غروب الشمس، وتكون بذلك بداية شهر قمري جديد. الشكل رقم (٢ ـ ٣) يكون فيه القمر في نقطة الأفول D، بحيث يكون DG قوس عرض القمر. والشمس هي تحت الأفق في النقطة O أما HDA فهو أفق مكان الرصد وE هي أقرب نقطة اعتدال (وهي هنا نقطة

الاعتدال الخريفي). OGE هو فلك البروج وMAE هو خط الاستواء السماوي، OM هو موضع الأفق عند غروب الشمس، وOH تمثل مسافة الشمس إلى الأفق عند أفول القمر، وOG هي المسافة الطولية بين الشمس والقمر، أما الزاوية ذات الرأس A بين الأفق وخط الاستواء فهي مساوية لتمام عرض المكان.



الشكل رقم (٢ ـ ٣)

لقد اقتبس يعقوب بن طارق والخوارزمي، المؤلفان اللذان ذكرناهما سابقاً، حلاً هندياً يستند على الفترة الزمنية التي تفصل بين غروب الشمس وغروب القمر، أي على القوس AM في الشكل السابق(٣٣). وهما يؤكدان أن الهلال يكون مرئياً في اليوم المعين إذا بيّن الحساب أن هذا القوس مساوٍ على الأقل لـ 12°، أي ما يعادل ثمانياً وأربعين دقيقة بين غروب الشمس وأفول القمر.

لقد تبع حبش الحاسب التقليد الذي ابتكره بطلميوس لدراسة قابلية رؤية النجوم الثابتة والكواكب على الأفق(٣٤). لم يتعرض بطلميوس أبداً لمسألة قابلية رؤية هلال القمر، بل ركّز

(٣٣) انظر: Edward Stewart Kennedy: «The Lunar Visibility Theory of Ya'qūb Ibn Ṭāriq,» *Journal of Near Eastern Studies*, vol. 27 (1968), pp. 126 - 132, and Mardiros Janjanian, «The Crescent Visibility Table in al-Khwārizmī's Zīj,» *Centaurus*, vol. 11, no. 2 (1965), pp. 73 - 78. وقد أعيد نشر هذين المقالين في: Edward Stewart Kennedy [et al.], *Studies in the Islamic Exact Sciences* (Beirut: American University of Beirut, °1983), pp. 151 - 163.

دراسته على قابلية رؤية الكواكب الأخرى وعلى بزوغها وأفولها وعلى ضيائية الجو على الأفق، أي على «قوس انحطاط الشمس تحت الأفق» قبل شروقها أو بعد غروبها، وهو القوس OH في الشكل السابق. وقد حدد بطلميوس القيمة التي يجب أن يأخذها هذا القوس لكي يصبح كوكب معين مرئياً على الأفق. وقد سُميت هذه القيمة فيما بعد، في المصادر اللاتينية، «arcus visionis» أي «قوس الرؤية». وقد اقتبس حبش الحاسب هذا المفهوم وطبقه على حالة القمر، فتوصل، بعد أرصاد وحسابات إلى أن «قوس انحطاط الشمس عن الأفق» أو «قوس قابلية رؤية الهلال»، أي OH، يجب أن يكون مساوياً، على الأقل، لعشر درجات ، لكي تُمكن رؤية الهلال القمري بعد غروب الشمس في اليوم التاسع والعشرين من الشهر القمري.

بقي هذا الاستدلال الذي قام به حبش الحاسب مشهوراً. وقد اقتبسه البيروني كما هو بعد قرنين من الزمان، وذكره الكثير من المؤلفين اللاحقين كإحدى الطرق النموذجية لمقاربة مسألة قابلية رؤية الهلال الصعبة.

وهكذا يظهر حبش الحاسب كراصدٍ أعاد قراءة **المجسطي** للتثبت من نتائجه، مواصلاً بذلك العمل الذي بدأ في عهد المأمون في إطار الفريق الذي حرر **الزيج الممتحن**. إلا أن عمله ذهب إلى أبعد مما قام به الذين سبقوه مباشرة، إذ إنه كيَّف وطوَّر بعض استدلالات بطلميوس بعد أن استوعبها بشكل كامل. ولكنه مع ذلك، لم يغير براهين بطلميوس النظرية في جوهرها. وقد قام بهذه المهمة مؤلف آخر. وهذا هو موضوع الفقرة التالية.

٣ ـ ترييض الاستدلالات في علم الفلك

المؤلف الوحيد الذي سيستوقفنا هنا هو ثابت بن قرة الذي ولد في حران في بلاد ما بين النهرين العليا في سنة ٢٠٩هـ/ ٨٢٤م على الأرجح، وتوفي في سنة ٢٨٨هـ/ ٩٠١م. كانت لغته الأم اللغة السريانية، وكان يُتقن اليونانية إتقاناً تاماً. أما لغة عمله فكانت اللغة العربية. لقد كتب، وهو ضمن فريق بني موسى في بغداد، مؤلَّفات مبتكرة في كل العلوم المعروفة في عصره. وكان مشهوراً على الأخص كرياضي، وألف أكثر من ثلاثين كتاباً في علم الفلك، نُقل منها تسعة فقط باسمه. من هذه المؤلفات **كتاب في سنة الشمس** الذي نسب إليه خطأ، والذي تعرضنا إليه سابقاً. وهكذا يمكن أن نُقوِّم عمله في علم الفلك من خلال ثمانية كتب(٣٥). سوف نستعرض ثلاثة من هذه المؤلفات الثمانية، الأول حول

(٣٤) انظر العرض المفصل في: Thābit Ibn Qurra, *Œuvres d'astronomie*, pp. xxvi - xxx.

(٣٥) حفظت أعماله الفلكية باللغة العربية ونشرت وشرحت. انظر: المصدر نفسه. كل ما يتبع هو ملخص لهذه الدراسة.

الدراسة النظرية لحركة كوكب على فلك خارج المركز، والثاني حول اختيار فترات الزمن لتحديد حركات القمر المختلفة، والثالث حول قابلية رؤية الهلال.

أ ـ الدراسة النظرية لحركة كوكب على فلك خارج المركز(٣٦)

يتكلم بطلميوس، عندما يدرس حركة الشمس على فلكها الخارج المركز عن تغيّر حركتها الظاهرية: «إن أكبر اختلاف بين الحركة المتوسطة والحركة التي تبدو غير مستوية، أي الاختلاف الذي نعرف به مرور الكواكب في مسافاتها المتوسطة، يحدث عندما تكون المسافة الظاهرية من الأوج مساوية لربع دائرة وعندما يقضي الكوكب وقتاً أطول للذهاب من الأوج إلى هذا الوضع المتوسط، مما يلزمه للذهاب من هذا الوضع المتوسط إلى الحضيض»(٣٧).

وهكذا يستنتج بطلميوس أن أبطأ حركة ظاهرية تحدث من جهة الأوج وأن أسرع حركة ظاهرية تحدث من جهة الحضيض، كما أن هناك مكاناً لحركة متوسطة بين الأوج والحضيض يوجد على بعد ربع دائرة من الأوج.

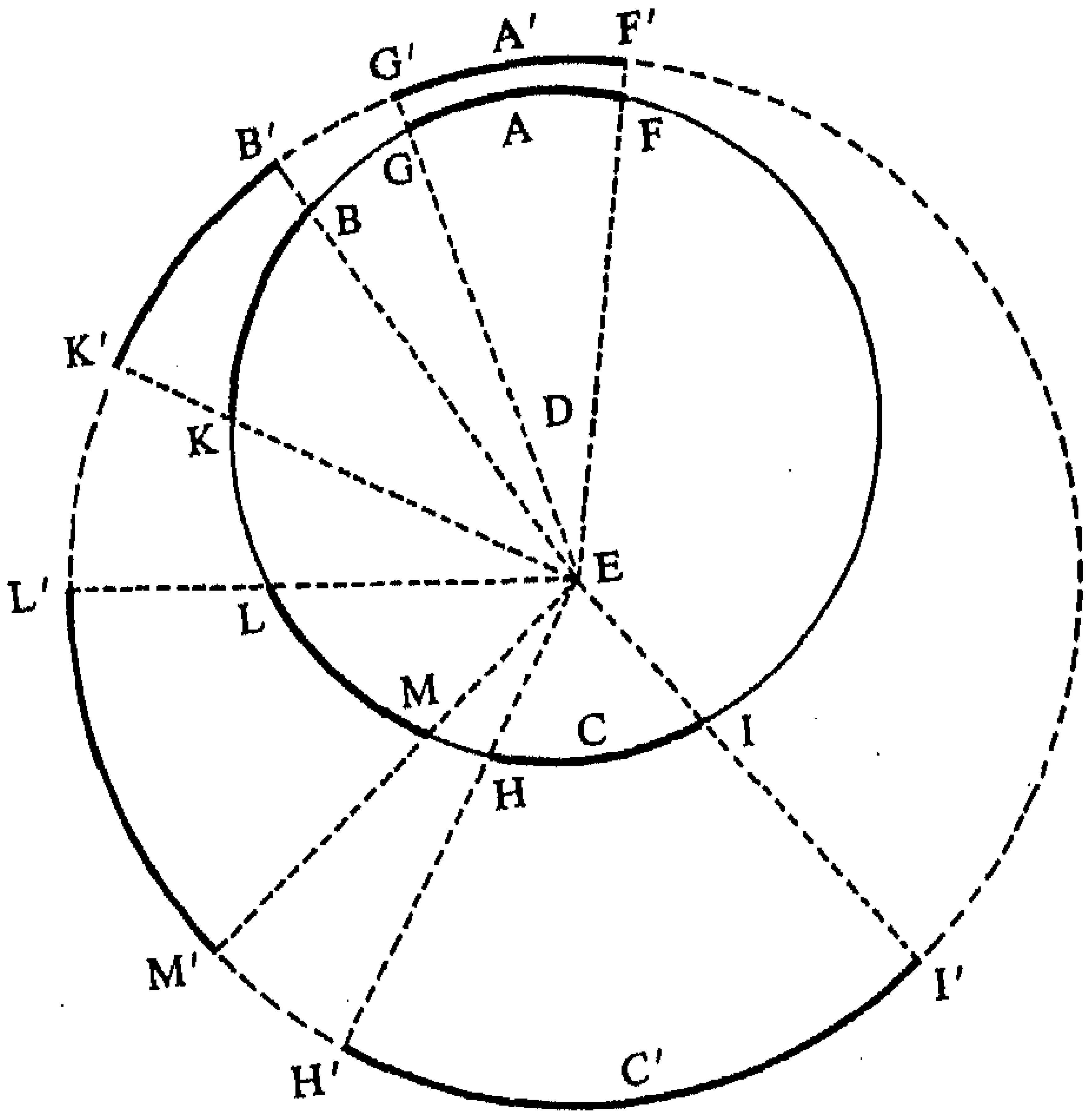
لقد بحث ثابت بن قرة هذه المسألة من جديد وبرهن نتائج بطلميوس. لنأخذ كوكباً ما أو مركزاً لفلك التدوير يسير على الفلك الخارج المركز ABC ذي المركز D، بحركة دائرية مستوية. تراقَب هذه الحركة من النقطة E حيث توجد الأرض على فلك البروج A'B'C'. الحركة الظاهرية هنا هي غير مستوية. يأخذ ثابت بن قرة أقواساً متساوية على الفلك الخارج المركز، يقضي الكوكب في اجتياز كل واحد منها نفس الفترة الزمنية لأن الحركة مستوية. هذه الأقواس هي GF الذي يتضمن الأوج A في وسطه، HI الذي يتضمن الحضيض C في وسطه، BK الذي يقع من جهة A وLM الذي يقع من جهة C (انظر الشكل رقم (٢ ـ ٤)).

يبرهن ثابت بن قرة، استناداً إلى الاستدلالات المستخرجة من **أصول** إقليدس، أن أقواس الحركة الظاهرية المرصودة على فلك البروج تحقق المتراجحات $G'F' < B'K' < L'M' < H'I'$، مما يجعله يستنتج بشكل دقيق: «**إذا كانت حركة كوكب، أو فلك ما، مستوية على فلكٍ خارج المركز، فإن أبطأ حركته، التي ترى له على فلك البروج، تكون إذا كان عند بعده الأبعد من فلكه الخارج المركز، وأسرعها إذا كان عند البعد الأقرب منه. وما قرب من حركاته الباقية التي ترى له فيه من موضع البعد الأبعد أبطأ مما بعد منها منه**».

---

(٣٦) عنوان المؤلف: «إبطاء الحركة وسرعتها في فلك البروج بحسب المواضع التي تكون فيها من الفلك الخارج المركز». انظر: المصدر نفسه، من ص lxxvi إلى ص lxxix، وص٦٩ ـ ٨٢ وص٢١٦ ـ ٢٢١.

(٣٧) انظر: Ptolemaues, *L'Almageste*, traduction française par N. Halma, tome 1, p. 174 et figure (2 - a) de l'introduction.

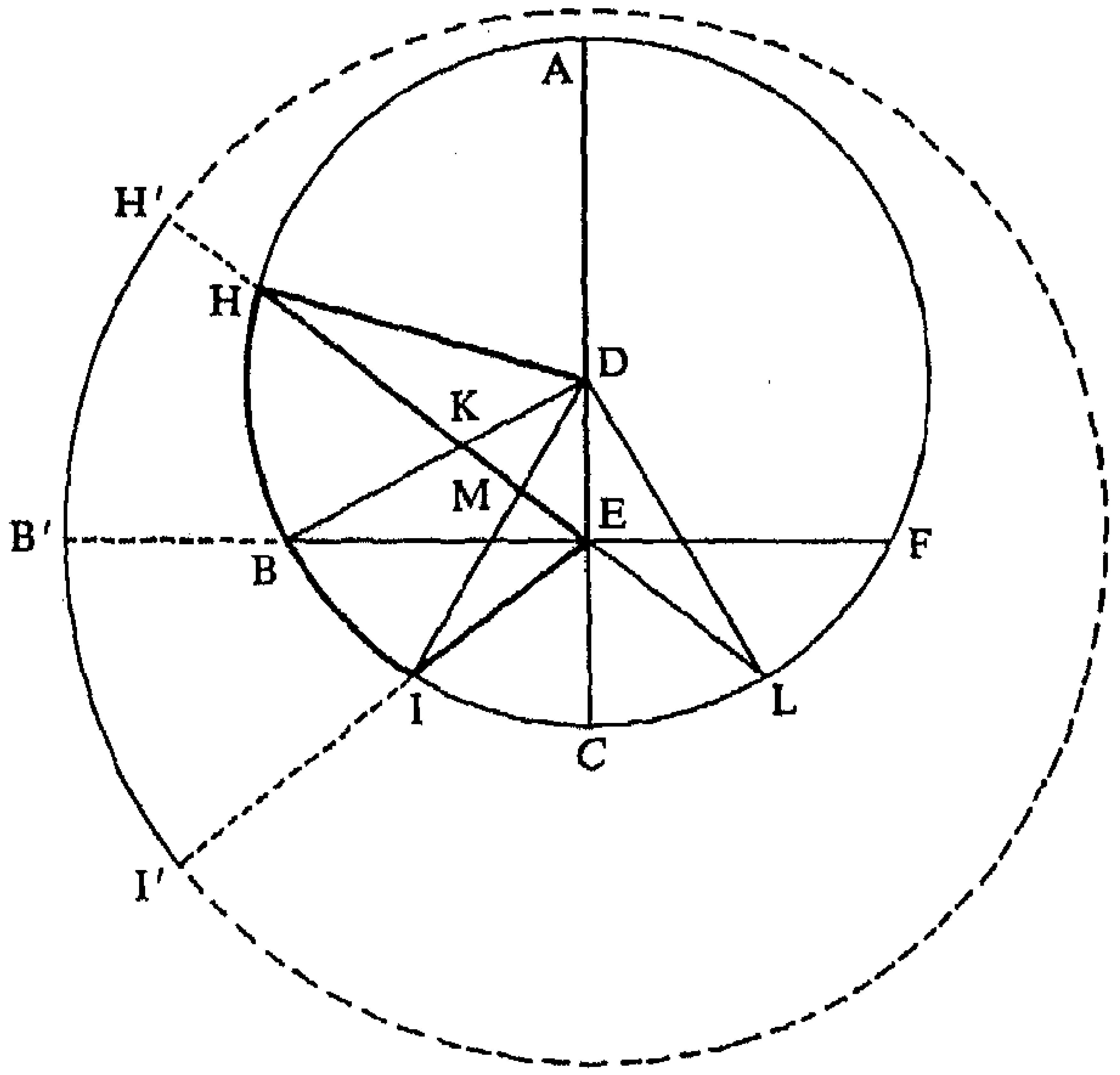


الشكل رقم (٢ ـ ٤)

لنلاحظ هنا أن ثابت بن قرة يتكلم عن سرعة الكوكب في أوجه وفي حضيضه. وهذه، حسب ما نعلم، هي المرة الأولى في التاريخ التي يظهر فيها مفهوم السرعة في نقطة معينة.

هذه هي المبرهنة الأولى في هذا الكتاب. والمبرهنة الثانية ليست أقل أهمية منها. يأخذ ثابت ثانية الفلك الخارج المركز ABC ذات المركز E والأوج A والحضيض C، ويضع النقطتين B وF اللتين تفصلهما عن الأوج، على فلك البروج، مسافة ربع دائرة في الحركة الظاهرية (انظر الشكل رقم (٢ ـ ٥)).

ويبرهن عندئذ، مستخدماً مرة أخرى استدلالات مستخرجة من أصول إقليدس، أن قوس الحركة المتوسطة IH، الذي هو مجموع HB وBI، مساوٍ للقوس I′H′ الذي هو مجموع قوسَي الحركة الظاهرية H′B′ و B′I′، وأن «هناك اقتراب من التساوي بين الحركة المتوسطة وبين الحركة ـ الظاهرية، إذا قربت الحركة من النقطة B، . . .، وهذا ما يحدث أيضاً عندما تقرب الحركة من النقطة F». ويستنتج من ذلك، آخذاً بعين الاعتبار المبرهنة السابقة: «وكلما قربت الحركة من إحدى النقطتين، B أو F، كانت أقرب إلى مساواة الحركة الوسطى، وكل حركتين توجدان عن جنبي إحداهما من فلك البروج وتكونان متساويتين، فإن مجموعهما مساوٍ، على الحقيقة، للحركة الوسطى. وهاتان النقطتان هما اللتان تشبهان نقطتي الحركة الوسطى».



الشكل رقم (٢ ـ ٥)

إن هذا البرهان الرياضي الخالص يسمح له بتحليل الحركة الظاهرية والحركة المتوسطة المستوية، كل واحدة بالنسبة إلى الأخرى بشكل دقيق، وبتحديد موقع محورين، الأول هو AC، محور التناظر للحركة المتوسطة المستوية، عندما تراقَب من النقطة E، والثاني هو BF محور التناظر للحركة الظاهرية على فلك البروج. وهكذا فإن الهيئة الهندسية المقترحة لتحليل حركة كوكب، تصبح هي الأخرى، بالنسبة الى ثابت بن قرة، قابلة للتحليل النظري بواسطة الوسائل التي يوفرها تطور الرياضيات. وهذا ما يؤدي بثابت بن قرة إلى القيام بأول تحليل رياضي للحركة.

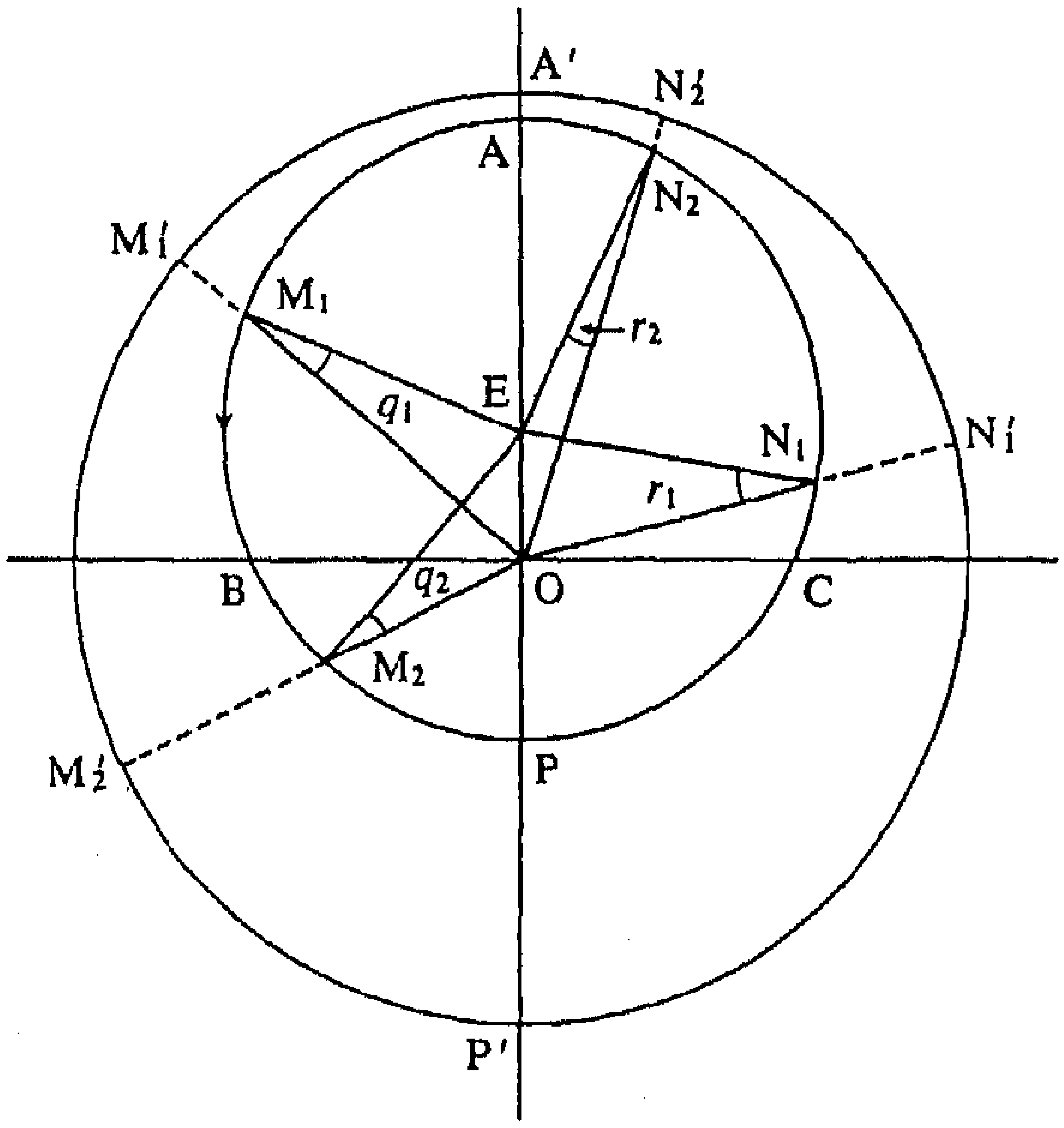
ب ـ اختيار فترات الزمن لتحديد حركات القمر المختلفة(٣٨)

راجع ثابت بن قرة، هنا أيضاً، مسألة طرحها بطلميوس في بداية الكتاب الرابع من **المجسطي**. وقد أراد بناء كل دراسته لحركات القمر، على أرصاد كسوفات القمر، لأن هذه الكسوفات تمكن من تحديد المواقع النسبية للشمس والقمر دون أن يفسد خطأ اختلاف المنظر نتائج الأرصاد. وكانت حركة الشمس قد دُرست في المقالة الثالثة من **المجسطي**، لذلك يجب اختيار الفواصل الزمنية التي يحدث الكسوف في أطرافها دورياً، بحيث يكون

(٣٨) عنوان المؤلف: «في إيضاح الوجه الذي ذكر بطلميوس أن به استخرج من تقدمه مسيرات القمر الدورية وهي المستوية»، أو «حركة النيّرين». انظر: Thābit Ibn Qurra, *Œuvres d'astronomie,* pp. lxxx - xcii, 84-92 et 222 - 229.

مؤكداً أن القمر قد أتم فيها رجعات كاملة على كل فلك من أفلاكه. فإذا عرفنا عدد هذه الرجعات، يمكننا تحديد دورية الحركات المختلفة للقمر. قبل أن نبين كيف حل بطلميوس هذه المسألة، سنرى كيف طرحها ثابت بن قرة.

إنه يهتم بالشمس، في أول الأمر، فيأخذ من جديد محورَي التناظر AP وBC، المحدّدين في كتابه السابق، لحركة كوكب على فلكٍ خارج المركز. انظر الشكل التالي حيث يوجد الراصد في النقطة O مركز فلك البروج، وتكون النقطة E مركز الفلك الخارج المركز. تسري الشمس من النقطة M_1 إلى النقطة M_2 في الفترة الزمنية الأولى t_1، ومن النقطة N_1 إلى النقطة N_2 في فترة زمنية ثانية t_2 مساوية للأولى. لذلك يكون قوسا الحركة المتوسطة M_1M_2 وN_1N_2 على الفلك الخارج المركز متساويين. ويقابل هذين القوسين قوسا الحركة الظاهرية $M'_1 M'_2$ و $N'_1 N'_2$ المرصودان على فلك البروج. ولكن النسبة بين القوسين الأخيرين تتعلق بموقعَي M_1 وM_2 على الفلك الخارج المركز، وفقاً لنتائج الكتاب المشروح سابقاً.



الشكل رقم (٢ ـ ٦)

إذا سمّينا q_1 وq_2، r_1 وr_2، ترتيباً، الفروق بين الحركة الوسطى والحركة الظاهرية للنقاط M_1 وM_2، N_1 وN_2، نحصل على:

$$N_1N_2 - N'_1N'_2 = r_2 - r_1 \quad \text{و} \quad M_1M_2 - M'_1M'_2 = q_2 - q_1$$

وهكذا يحصل ثابت بن قرة، بأخذه فترتين متساويتين من الزمن، أي $t_1 = t_2$، على سبع حالات لتركيب الحركتين يمكن التعبير عنها بطريقة نظرية بحتة بواسطة العلاقات بين $(q_2 - q_1)$ و$(r_2 - r_1)$ ويمكن تطبيقها مباشرة على الشمس. هذه الحالات هي:

١) تنطلق الشمس، في الفترة t_1، من M_1 وتعود إلى نفس النقطة بعد عدة دورات كاملة، وتنطلق، في الفترة t_2، من النقطة N_1 وتعود إليها. وهكذا يكون معنا بشكل بديهي $q_2 = q_1$ و$r_1 = r_2$.

٢) $q_2 - q_1 = r_2 - r_1 = 0$

٣) $q_2 - q_1 = r_2 - r_1 > 0$

٤) $q_2 - q_1 = r_2 - r_1 < 0$

٥) $|q_2 - q_1| = |r_2 - r_1|$

٦) $q_2 - q_1 \neq r_2 - r_1$

٧) $q_2 - q_1 = 0$ و $r_2 - r_1 \neq 0$.

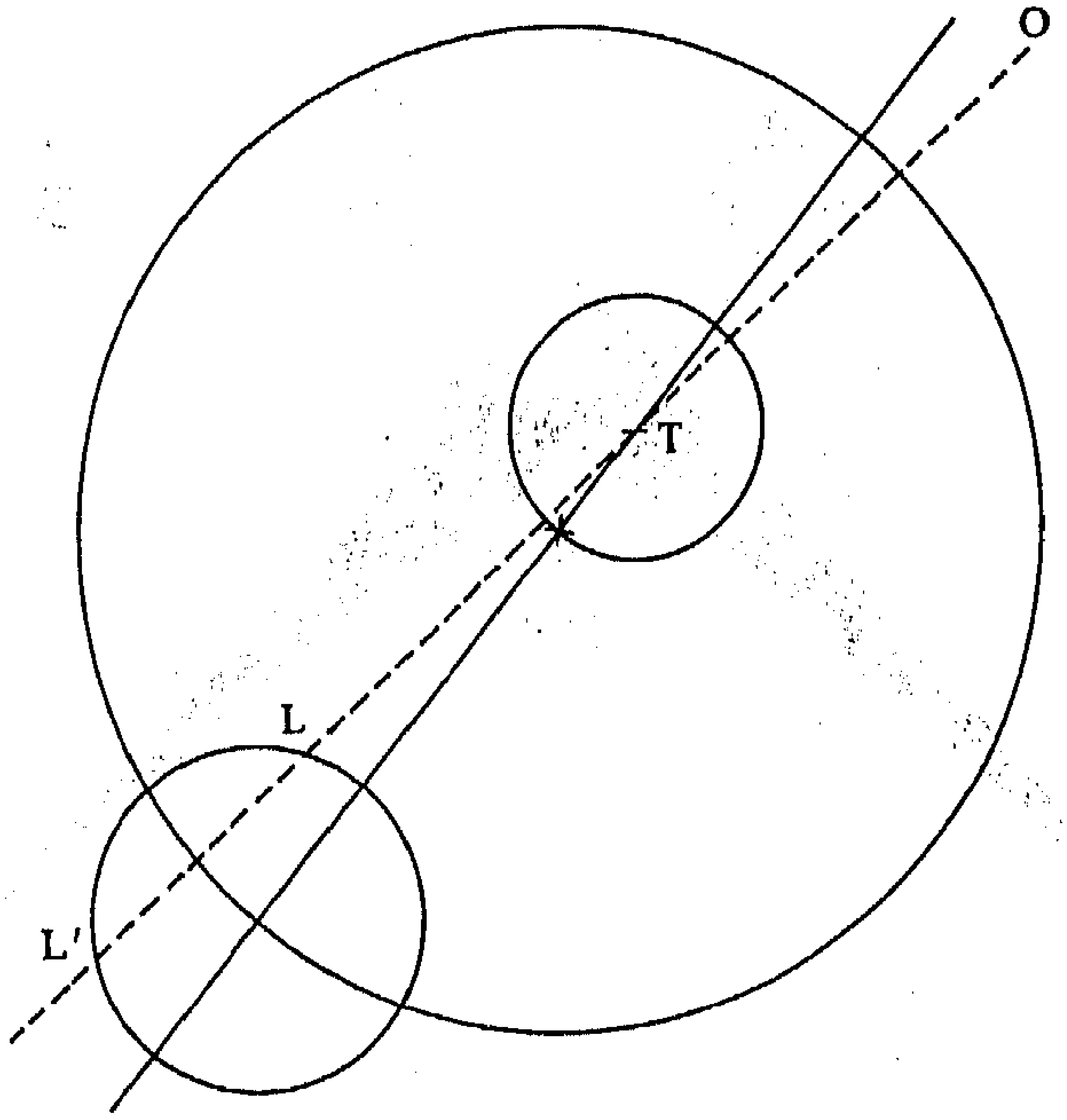
يحصل التعادل، خلال هاتين الفترتين المتساويتين، بين الحركات الظاهرية في الحالات ذات الأرقام ١، ٢، ٣، و٤، ويحصل التباين بين هذه الحركات في الحالات ذات الأرقام ٥، ٦، و٧. أما التعادل بين الحركة المتوسطة والحركة الظاهرية فيحصل في الحالتين ١ و٢ (الحالة رقم ٢ تنطبق على المبرهنة الثانية). ويمثل الشكل رقم (٢ ـ ٦) الوضع العام للحالة رقم ٦.

يمكن، بواسطة مبرهنتي الكتاب السابق وبالاستناد إلى محورَي التناظر، تحديد موضع النقط M_1 وM_2، N_1 وN_2، التي هي مواقع انطلاق ووصول الشمس خلال الفترتين الزمنيتين المتساويتين، وذلك لكل حالة من الحالات السبع لتركيب الحركتين.

إن وضعية القمر أكثر تعقيداً، إذ إنه يتحرك على فلك التدوير الذي يتحرك هو الآخر على فلكٍ خارج المركز. ولكننا في حالة تحصل فيها كسوفات القمر في أطراف الفترتين المشار إليهما، وهذا ما يسمح بإقامة علاقة بين حركة القمر وحركة الشمس، لأن الشمس والقمر يكونان، عندئذ، متقابلين حسب الشكل التالي:

إذا كانت الشمس في النقطة O، وكانت الأرض في النقطة T، يمكن للقمر الموجود على فلك التدوير، أن يكون في لحظة المقابلة مع الشمس في النقطة L أو في النقطة 'L. يجد ثابت بن قرة، في هذا الوضع، سبع حالات لتركيب حركة القمر مشابهة لحالات تركيب حركة الشمس. إذا قطعت الشمس، في كل من الفترتين، في الحركة الظاهرية، مسافات زاويّة متساوية، فإن القمر يفعل ذلك أيضاً. ولكن، لكي تتحقق حركات القمر

هذه على مختلف أفلاكه، يجب حذف الحالات التي يمر فيها القمر من L إلى L′ على فلك التدوير بين طرفي كل من الفترتين. وهكذا تجب مناقشة الحالات السبع، مما يؤدي إلى إبعاد الحالات ذات الأرقام ٥، ٦، و٧ بسبب وضع الشمس التي لها حركات ظاهرية غير متساوية في طرفي الفترتين، وكذلك إلى إبعاد الحالات ذات الأرقام ٢، ٣، و٤، لأن القمر يمر عندئذ من L إلى L′ على فلك التدوير. فلا نستبقي إلا الحالة الأولى، حيث ينطلق القمر والشمس من نفس النقطة على فلك البروج ويعودان إليها، لأن كلاً منهما يكون، في هذه الحالة فقط، قد أتمّ عدداً كاملاً من الرجعات على مختلف أفلاكه.



الشكل رقم (٢ ـ ٧)

وكان بطلميوس قد قام كذلك بمناقشة حول فترتين زمنيتين متشابهتين، واختار للشمس أربع حالات(٣٩):

(أ) تجتاز الشمس دوائر كاملة في الفترتين t_1 وt_2 ـ وهذا ما يعادل حالة ابن قرة الأولى.

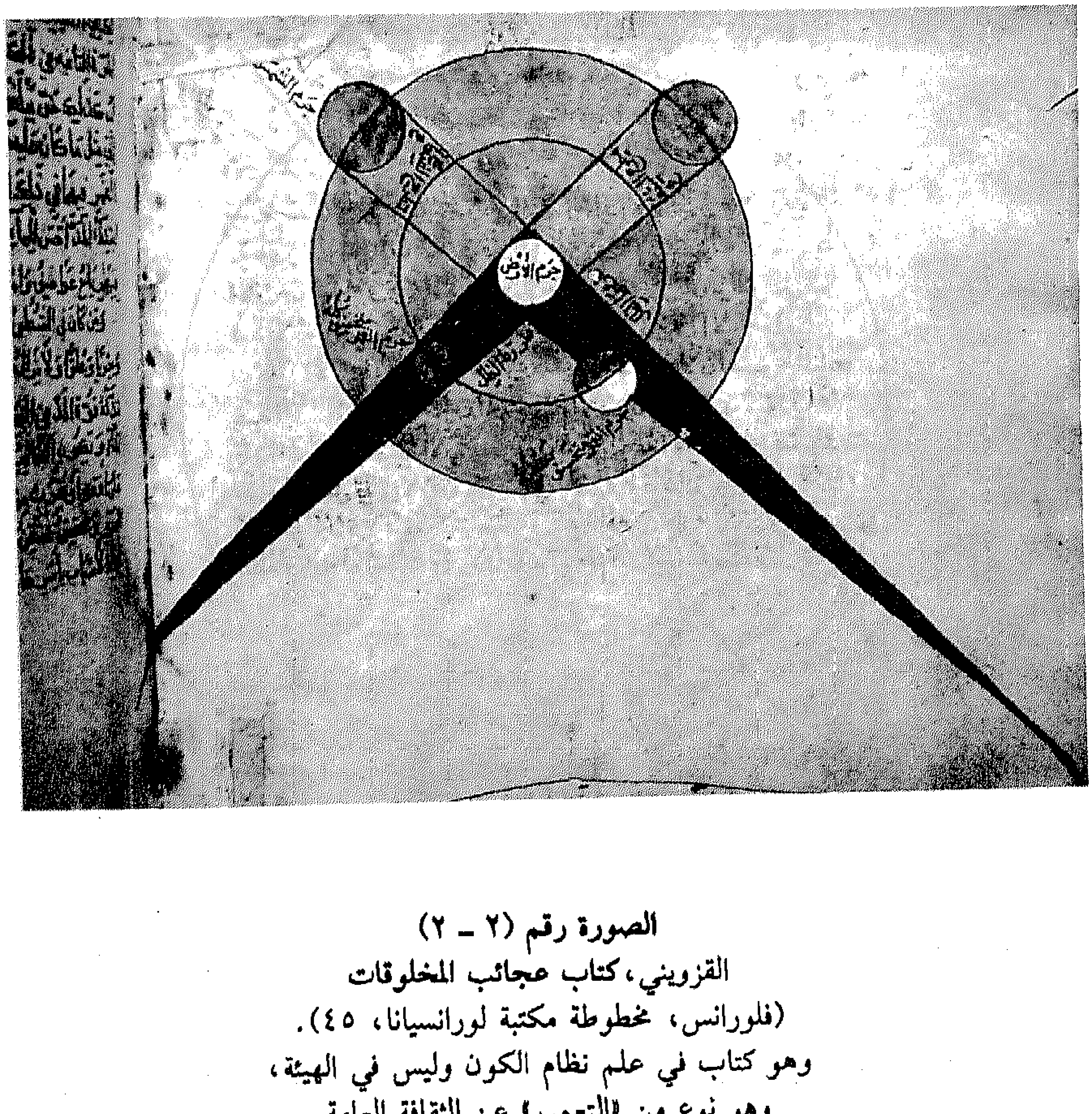
---

(٣٩) انظر: Ptolemaues, *L'Almageste:* édition du texte grec par J. L. Heiberg, tome 1, pp. 272 - 275, et traduction française par N. Halma, tome 1, pp. 218 - 220.

(ب) تنطلق الشمس في بداية الفترة t_1 من الحضيض، وتصل إلى الأوج في نهايتها ـ وهذه وضعية خاصة من حالة ابن قرة الثانية.

(ج) تنطلق الشمس، في الفترتين t_1 وt_2، من نفس النقطة على فلك البروج ـ وهذه وضعية خاصة من الحالتين الثالثة والرابعة لابن قرة.

(د) نقطة انطلاق الشمس في الفترة t_1 متناظرة، بالنسبة الى الأوج أو الحضيض، مع نقطة وصولها في الفترة t_2، والعكس بالعكس ـ وهذا ما يطابق الحالة الثالثة أو الحالة الرابعة لابن قرة.



الصورة رقم (٢ ـ ٢)

القزويني، **كتاب عجائب المخلوقات**

(فلورانس، مخطوطة مكتبة لورانسيانا، ٤٥).

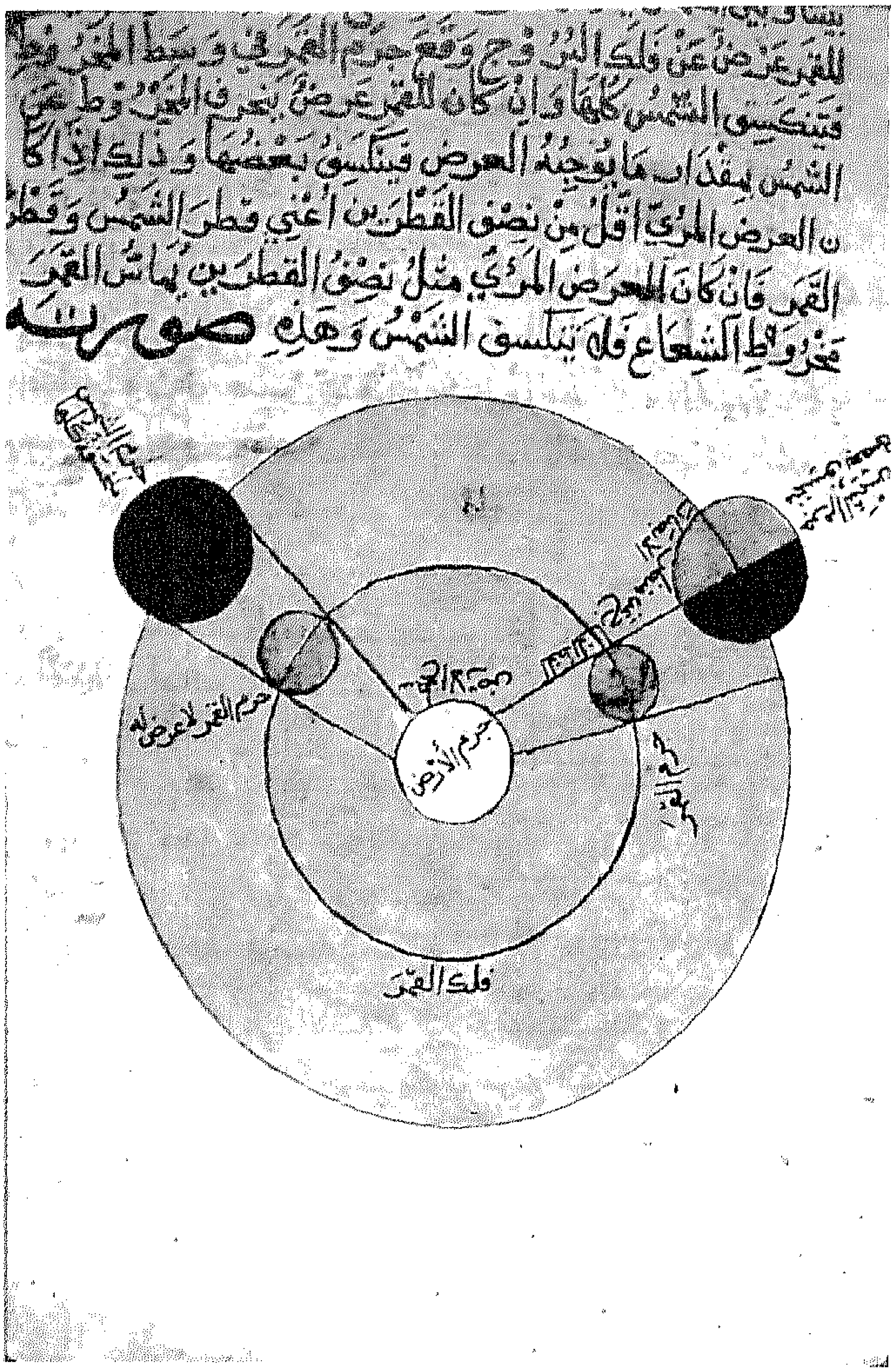
وهو كتاب في علم نظام الكون وليس في الهيئة،

وهو نوع من «التعميم» عن الثقافة العامة.

ويصف القزويني فيه ـ من بين أمور أخرى ـ الظواهر السماوية.

ونرى هنا شرح كسوف القمر وكسوف الشمس تبعاً

للفرضية القائلة بأن الأرض هي المركز.



الصورة رقم (٢ ـ ٣)

القزويني، **كتاب عجائب المخلوقات**

(فلورانس، مخطوطة مكتبة لورانسيانا، ٤٥).

وهو كتاب في علم نظام الكون وليس في الهيئة،

وهو نوع من «التعميم» عن الثقافة العامة.

ويصف القزويني فيه ـ من بين أمور أخرى ـ الظواهر السماوية.

ونرى هنا شرح كسوف القمر وكسوف الشمس

تبعاً للفرضية القائلة بأن الأرض هي المركز.

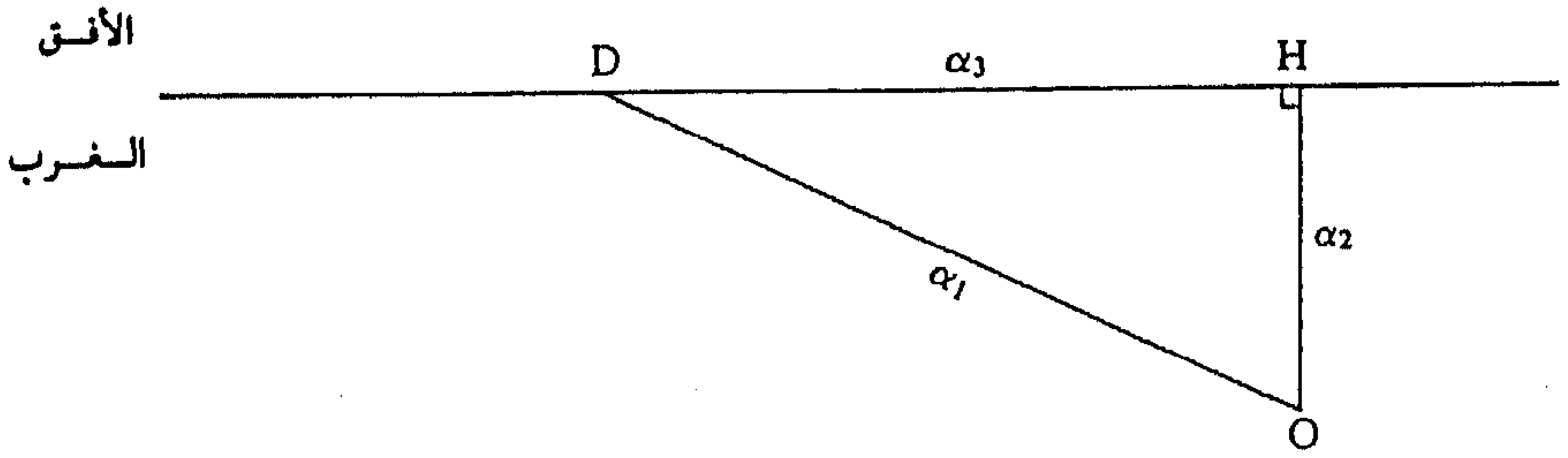
يتفحص بطلميوس وضع القمر، بعد ذلك، فيحذف الحالات (ب)، (ج)، و(د)، ولا يحتفظ إلا بالحالة الأولى، أي بحالة ابن قرة الأولى. إن استنتاجاتهما متشابهة، ولكن بطلميوس يُجري استدلالاته انطلاقاً من نقاط خاصة، بينما يأخذ ابن قرة المسألة بكل شموليتها، ويحللها تحليلاً كاملاً، فيصل إلى نتيجة غير قابلة للرفض (ضمن إطار الهيئات الهندسية المتبعة)، لأن تحليله النظري كامل الدقة.

ج ـ قابلية رؤية الهلال

لقد اهتم ابن قرة، كسائر علماء الفلك الغرب، بمسألة قابلية رؤية هلال القمر. وقد نُقل له كتابان في هذا الموضوع: **كتاب في رؤية الأهِلّة بالجيوب**، وكتاب **في رؤية الأهِلة من الجداول**. الكتاب الأول نظري بحت، أما الكتاب الثاني فهو تبسيط لِلكتاب الأول من أجل تطبيقه العملي بواسطة الجداول[٤٠].

لقد بحث ابن قرة، بشكل إجمالي، عن علاقة قابلة للتحديد كمياً بين ضيائية أول هلال قمري وضيائية الأفق تماماً بعد غروب الشمس. وكما رأينا سابقاً، لقد اقتبس حبش الحاسب عن بطلميوس، في دراسته لقابلية رؤية النجوم الثابتة والكواكب، مفهوم «قوس قابلية رؤية» الهلال وأعطى هذا القوس قيمة ثابتة تساوي $10°$. ولقد جزى ابن قرّة على هذا التقليد، ولكن حلّه أكثر تعقيداً لأنه لم يعتبر قيمة «قوس قابلية الرؤية» ثابتة. وهذا ما أوجب عليه تغيير هذه القيمة بحسابات متتالية تبعاً لأربعة متغيرات عرفها كما يلي:

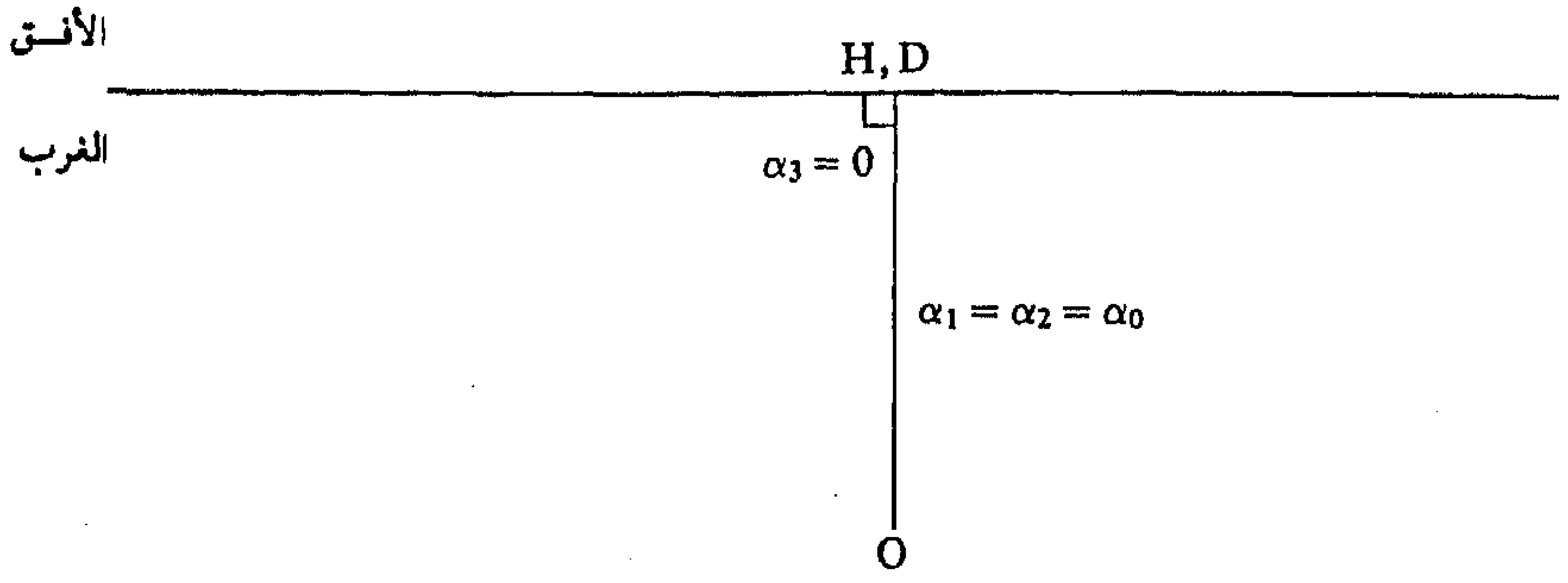
المتغيرات الثلاثة الأولى هي الأضلاع الثلاثة للمثلث الكروي الأساسي المسمى OHD في الشكل السابق رقم (٢ ـ ٣)، حيث يكون موقع الشمس تحت الأفق في النقطة O، وتكون H «نقطة الأفق الأكثر إضاءة» على الخط العمودي للشمس، ويكون القمر في النقطة D عند أفوله. سنرمز إلى هذه الأقواس الثلاثة بـ α_1، α_2، وα_3.



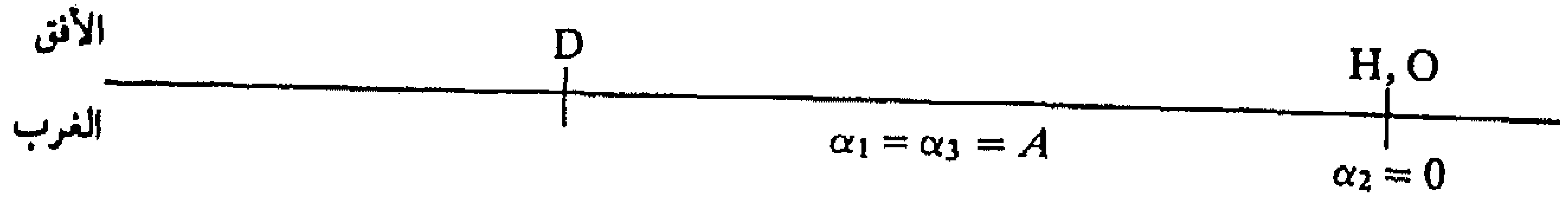
الشكل رقم (٢ ـ ٨)

(٤٠) انظر: Thābit Ibn Qurra, Ibid., pp. xciii - cxvii, 94 - 116 and 230 - 259,
للحصول على تفاصيل الشرح الآتي المقدم هنا بشكل موجز في محاولة لإعادة بناء النص حسب منهج المؤلف.

القوس الأول α_1 هو المسافة الزاوية بين القمر والشمس، وهو القوس الذي يحدد جزء الهلال المرئي من الأرض والمضاء بالشمس. القوس الثاني α_2 هو «قوس انحطاط الشمس تحت الأفق»، الذي تتعلق به ضيائية السماء في نقطة الأفق H، بعد غروب الشمس. أما القوس الثالث α_3 فهو المسافة من D إلى نقطة الأفق H الأكثر إشراقاً، وتتعلق به ضيائية السماء في النقطة التي يغيب فيها القمر. يمكن أن يوجد هذا المثلث في إحدى الحالتين الحدِّيتين التاليتين:



الشكل رقم (٢ ـ ٩)



الشكل رقم (٢ ـ ١٠)

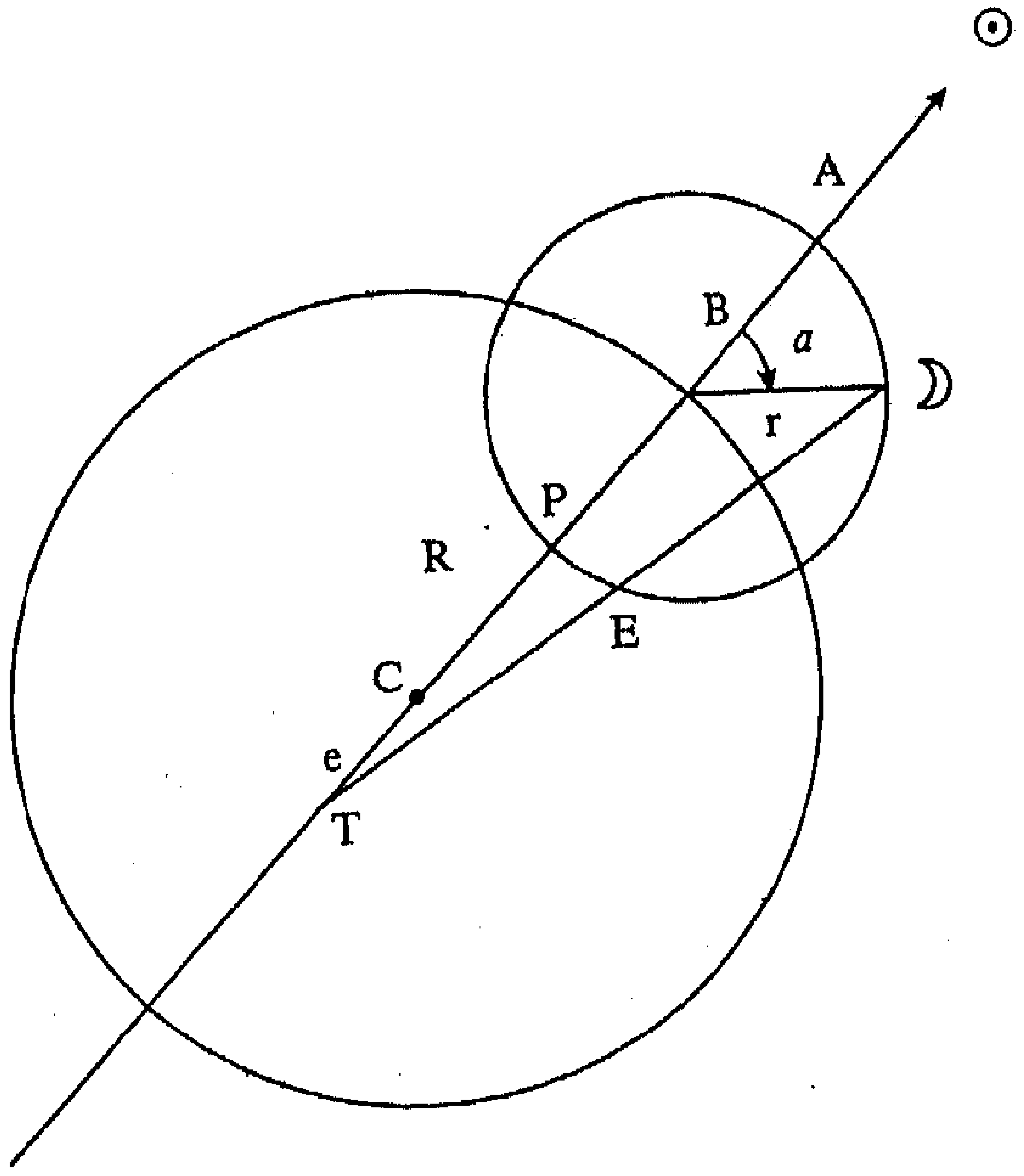
يغيب القمر، في الحالة الأولى، على الخط العمودي للشمس، في «نقطة الأفق الأكثر إشراقاً» (انظر الشكل رقم (٢ ـ ٩)). فيكون القوس α_3 مساوياً للصفر، وتمكن رؤية الهلال، إذا كانت قيمة كل من α_1 وα_2 مساوية، على الأقل، للقيمة الحدِّية المشتركة α_0 لهذين القوسين. إن α_0 هي القيمة المطلقة لـ «قوس قابلية رؤية» الهلال، ويجب تحديدها تبعاً للمسافة بين الأرض والقمر. لقد أكد إبن قرة، دون إثبات، أن هذه القيمة الدنيا تساوي، بالدرجات، 10;52، فيكون الهلال غير قابل للرؤية، إذا صحّت المتراجحة: $\alpha_0 < 10;52$. يغيب القمر والشمس معاً في الوقت نفسه، في الحالة الثانية، ويكون الهلال على حد قابلية الرؤية. فيجب عندئذٍ أن تكون المسافة الزاوية بين الشمس والقمر مناسبة للتمكن من رؤية الهلال في النهار. وهكذا (انظر الشكل رقم (٢ ـ ١٠)) نحصل على:

$$\alpha_1 = \alpha_3 = A \quad \text{و} \quad \alpha_2 = 0$$

والزاوية A هي الحد الأدنى الذي يجب اجتيازه لكي يكون الهلال مرئياً في كل الظروف الممكنة. لقد أكد ابن قرة أن الهلال يصبح مرئياً في النهار إذا تحققت المتراجحة $A > 25°$، مهما كانت قيم المتغيرات الأخرى. ويظهر أن هذا الحد الأدنى المساوي لـ 25° قد استُنتج من الرصد. فقد بيّنت أرصاد حديثة أن القمر يكون على حد قابلية الرؤية في وسط النهار، إذا كانت مسافته الزاوية إلى الشمس قريبة من 25°.

أما المتغير الرابع فهو متعلق بالمسافة، بين الأرض والقمر، التي تتعلق بها زاوية رؤية القمر، وبالتالي ضيائية القمر لنفس الجزء من الهلال المضاء. إن موضع مركز فلك تدوير القمر يمكن أن يندمج مع أوج فلكه الخارج المركز في أول لحظة لقابلية رؤية الهلال. إن خاصة القمر a هي المتغير الوحيد الذي يدخل في تحديد المسافة بين الأرض والقمر.

يبلغ القمر بعده الأقصى عن الأرض عندما تكون a مساوية للصفر، ويبلغ بعده الأدنى عندما تكون a مساوية لِ 180°. وعندما تكبر خاصة القمر من 0° إلى 180°، تصغر المسافة بين الأرض والقمر من $R+e+r$ إلى $R+e-r$ حيث يكون R شعاع الفلك الخارج المركز، ويكون e مقدار خروج هذا الفلك عن المركز، ويكون r شعاع فلك التدوير.



الشكل رقم (٢ ـ ١١)

(١) المرحلة الأولى: العلاقة بين α_1 و α_2

يدور القسم الأساسي من المناقشة حول القوسين α_1 وα_2 في الشكل رقم (٢ ـ ٨)، أي حول المتغيرين الأكثر أهمية. إذا تزايد α_1 يصبح الهلال أكثر ضياء، وإذا تناقص α_2 تصبح ضيائية السماء أقوى على الأفق. ويجب إيجاد توازن بين تغير α_1 وتغير α_2 وتعديل هذا التوازن تبعاً للمتغيرين الآخرين. لتكن $V(\alpha_1, \alpha_2)$ العلاقة بين القوسين α_1 وα_2 عندما يكون الهلال على حد قابلية الرؤية. يبحث ابن قرة عن العلاقة الواجبة بين مقدار «التزايد» $\Delta\alpha_1$ ومقدار التناقص $\Delta\alpha_2$، بحيث نستطيع كتابة المطابقة التالية:

$$V(\alpha_1, \alpha_2) \Longleftrightarrow V(\alpha_1 + \Delta\alpha_1, \alpha_2 - \Delta\alpha_2)$$

يعني الطرف الأيمن من هذه العبارة أن الهلال هو من جديد على حد قابلية الرؤية بالنسبة الى القوسين المقصودين. يؤكد ابن قرة عندئذٍ أن نسبة $\Delta\alpha_1$ إلى $\Delta\alpha_2$ ثابتة: $k = \Delta\alpha_1/\Delta\alpha_2 = (A - \alpha_0)/\alpha_0$، حيث تكون A و$\alpha_0$ كما حددنا سابقاً. ونحن نجد ثانية هذه الثابتة إذا نقلنا الهلال من حالة حدِّية إلى حالة حدية أخرى (انظر الشكلين رقم (٢ ـ ٩) ورقم (٢ ـ ١٠))، أي من $(\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_0)$ إلى $(\alpha_1 = A)$ و$(\alpha_2 = 0)$. فيمكننا أن نستنتج من العبارة السابقة: $V(\alpha_0, \alpha_0) \Longleftrightarrow V(A, 0)$، مع $\Delta\alpha_1 = A - \alpha_0$ و$\Delta\alpha_2 = \alpha_0$، وهذا ما يعطينا النسبة الثابتة المقترحة k بين $\Delta\alpha_1$ و$\Delta\alpha_2$، فنحصل على $A = (k+1)\alpha_0$. يؤكد ثابت بن قرة أن النسبة k معروفة، وتؤكد معطيات النص العددية أن $k = 1;11,46$. ربما يكون المؤلف قد حصل على هذا العدد من دراسة أجراها على القيم التي أعطاها بطلميوس في **كتاب الاقتصاص**، لـ «قوس قابلية الرؤية» للكواكب المختلفة[٤١].

(٢) المرحلة الثانية: دور α_3

إن α_0 هي القيمة المطلقة لـ «قوس قابلية رؤية» الهلال، لأن القمر، في الحالة الحدّية الظاهرة في الشكل رقم (٢ ـ ٩)، يأفل على خط الشمس العمودي فتكون α_3 مساوية للصفر. وعندما يبتعد القمر عن النقطة H التي هي «النقطة الأكثر إشراقاً على الأفق»، يكون القوس الجديد لقابلية الرؤية أصغر من α_0 بقليل، لأن ضيائية الأفق في هذا المكان أضعف قليلاً من ضيائيته في النقطة H. يطبق ابن قرة عندئذٍ الصيغة التي أعدها بطلميوس، في كتابه **في ظهور الكواكب الثابتة**، لقابلية رؤية النجوم الثابتة[٤٢]، فيعطي أول صيغة لتعديل قوس قابلية الرؤية:

$$\alpha'_0 = \alpha_0(360 - \alpha_3)/360.$$

---

(٤١) لتوضيح هذه الفرضية، انظر: المصدر نفسه، من ص cxii إلى ص cxv.

(٤٢) انظر: Régis Morelon, «Fragment arabe du premier livre du *Phaseis* de Ptolémée,» *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 5, nos. 1 - 2 (1981), pp. 3 - 14.

(٣) المرحلة الثالثة: دور المسافة بين الأرض والقمر (تبعاً لـ a)

رأينا سابقاً أن ابن قرة وضع $\alpha_0 = 10; 52$ كحدٍ أدنى مطلقٍ لقوس قابلية الرؤية، ووضع $A = 25$ كحد أقصى لهذا القوس بحيث إذا زاد القوس عن هذا الحد الأقصى أصبح القمر مرئياً في النهار مهما كانت الشروط الأخرى. وهكذا أكد ثابت بن قرة أن العلاقة $\alpha_0 = 10; 52$ تحقق أحسن الشروط لقابلية الرؤية، إذ يكون القمر في أقرب مسافة من الأرض ($a = 180$ على الشكل رقم (٢ ـ ١١))، وأن العلاقة $A = 25$ تحقق أسوأ الشروط لقابلية الرؤية، إذ يكون القمر في أبعد مسافة عن الأرض ($a = 0$). وعندما تتغير مسافة القمر إلى الأرض، تتغير زاوية رؤيته، فيتوجب حساب α_0 وA تبعاً لذلك. لقد قام ابن قرة بحل هذه المسألة قياساً على ما عرض في **كتاب الاقتصاص** حول قابلية رؤية هلال كوكب الزهرة. يحدد بطلميوس في هذا الكتاب قوس قابلية رؤية الزهرة بخمس درجات عندما يكون هذا الكوكب على مسافته الدنيا من الأرض (166 شعاعاً أرضياً حسب الأرقام المقررة في ذلك العصر) وبسبع درجات عندما يكون هذا الكوكب على مسافته القصوى (1079 شعاعاً أرضياً). أما الأرقام الخاصة بالقمر والواردة في نفس الكتاب، فهي تحقق العلاقتين: $R + e - r = 53$ و$R + e + r = 64$. يؤكد ابن قرة عندئذٍ، دون أن يُثبت حسابه بوضوح، أن الفروقات في قوس قابلية رؤية هلال القمر هي $0; 31$ لـ α_0، و$1; 8$ لـ A. فيستنتج من ذلك أن: $11; 23 \leqslant \alpha_0 \leqslant 10; 52$ و$25 \leqslant A \leqslant 23; 52$ عندما يكون $0 \leqslant a \leqslant 180$.

توجد طريقة حسابية وحيدة للحصول ثانية على قيم تقريبية جيدة لهذه الأرقام، وذلك باعتبار المسافات حدوداً لمتتالية عددية وباعتبار أقواس قابلية الرؤية حدوداً لمتتالية هندسية. والنتيجة هي كالآتي: فيما يخص كوكب الزهرة، إن معامل المتتالية العددية يساوي 1، ويكون قوسا الرؤية، بالطبع، في المرتبتين 5 و7، أما معامل المتتالية الهندسية فهو 2; 712، ويكون العدد 147 في المرتبة 5، والعدد 1079 في المرتبة 7. فيما يخص القمر، يساوي مُعامل المتتالية العددية 0;31، فنجد 10;51 في المرتبة 21 و11;22 في المرتبة 22. ويساوي مُعامل المتتالية الهندسية 64/53، فنجد 53 في المرتبة 21، و64 في المرتبة 22. إن الأرقام التي حصلنا عليها هنا قريبة بشكل جيد من أرقام ابن قرة، مما يجعلنا نستنتج أنه قد استخدم نفس الطريقة الحسابية لاستخراجها. إذا كانت النسبة k معروفة، كما يؤكد ابن قرة، فإن معرفة $A = 25$، بواسطة الرصد، تكفي وحدها لإيجاد القيمتين الحديثين لكل من α_0 وA.

هذه المطابقة بين حدود المتتاليتين لا تعطي إلا قيم α_0 وA القصوى الموافقة لـ $a = 0$ و$a = 180$. وقد استخدم ابن قرة، لحساب القيم الأخرى، صيغة استكمال بسيطة جداً

اقتبسها عن بطلميوس الذي وضع جدولاً[٤٣] للدالة I (a) التي تحقق العلاقة $0 \leqslant I(a) \leqslant 1$، عندما يكون $0 \leqslant a \leqslant 180$. وهكذا يضع ثابت بن قرة:

$$\alpha_0 = 11;23 - 0;31 . I(a) \quad \text{و} \quad A = 25 - 1;8 . I(a).$$

تتطرق المناقشة أخيراً إلى القوس α_2 (قوس انحطاط الشمس تحت الأفق)، لمقارنته بـ «قوس قابلية الرؤية» المحسوب تدريجياً بإعطاء قيم ثابتةٍ لبعض المتغيرات:

(أ) يضع ابن قرة $\alpha_3 = 0$ و$\alpha_1 = 10;52$ (الحد الأدنى المطلق)، ويحسب، تبعاً لـ a، قيمة α_0: $\alpha_0 = 11;23 - 0;31 . I(a)$، ثم يستنتج أن هلال القمر يكون مرئياً إذا كان $\alpha_2 \geqslant \alpha_0$.

(ب) يأخذ ابن قرة قيمة α_3 الحقيقية ويحتفظ بـ $\alpha_1 = 10;52$، ثم يحسب النقص الحاصل لقوس قابلية الرؤية، $\alpha_0' = \alpha_0 - \Delta\alpha_0$، بواسطة صيغة بطلميوس التالية الواردة في **كتاب في ظهور الكواكب الثابتة**: $\alpha_0' = \alpha_0 (360 - \alpha_3) / 360$، فيستنتج أن الهلال يكون غير مرئي إذا كان معنا $\alpha_2 \geqslant \alpha_0'$.

(ج) يأخذ ابن قرة القيم الحقيقية لكل المتغيرات، ويحسب $\alpha_0'' = \alpha_0' - \Delta\alpha_0'$ أي النقص الحاصل الذي يتعلق بـ α_1 وهي المسافة الزاويّة بين الشمس والقمر التي تعطي العرض الحقيقي للهلال المرئي. وتجب إضافة عامل آخر يؤثر على تزايد القوس α_1 انطلاقاً من حده الأدنى المطلق 52 ; 10، ويُدخل A' قيمة A المعدلة، كما جرى لـ α_0، بواسطة الصيغة المقتبسة من **كتاب في ظهور الكواكب الثابتة**. وهكذا تصبح العبارة النهائية على الشكل التالي:

$$\alpha_0'' = [11;23 - 0;31 . I(a)] [(360 - \alpha_3) / 360] [(A' - \alpha_1) / (A' - 10;52)]$$

ويستنتج ابن قرة أن الهلال يصبح مرئياً إذا كان $\alpha_2 \geqslant \alpha_0''$.

وهكذا تستند نظرية قابلية الرؤية إلى ستة عناصر: الرصد الذي يعطي $A = 25$، النسبة الثابتة k، بين «تزايد» α_1 و«تناقص» α_2، المطابقة بين حدود متتاليتين إحداهما عددية والأخرى هندسية، وضعية المتغيرات الثلاثة الرئيسة بالنسبة الى قيمها الحدية، $\alpha_0 \leqslant \alpha_1 \leqslant A$ و $0 \leqslant \alpha_2 \leqslant \alpha_0$ و $0 \leqslant \alpha_3 \leqslant A$؛ صيغة استكمال بسيطة مقتبسة عن بطلميوس، وصيغة مستخرجة من **كتاب في ظهور الكواكب الثابتة**، لتعديل النتيجة تبعاً لوضع القمر على الأفق.

لقد استخدم ابن قرة، في كل هذه الدراسة، التشابه بين حالة الهلال وحالة الكواكب الثابتة فطبق صيغةً من **كتاب في ظهور الكواكب الثابتة**. واستخدم كذلك التشابه بين حالة

(٤٣) انظر: Ptolemaues, *L'Almageste*, traduction française par N. Halma, tome 1, p. 430.

الهلال وحالة الكواكب، فاقتبس مثال كوكب الزهرة. وهذا يعني، بالنسبة إليه، أن لا وجود سوى لمسألة واحدة لقابلية رؤية أي جرم سماوي مضيء على الأفق بعد غروب الشمس أو قبل شروقها: الهلال القمري، الكواكب الثابتة، والكواكب تخضع كلها لتلك الظاهرة الفريدة التي حاول ابن قرة تحليلها تحليلاً رياضياً، باحثاً عن علاقة بين الأبعاد التابعة لضيائية الجرم المقصود بالدرس، وللأفق في لحظة معينة. وهكذا يظهر أنه قد بحث عن قانون عام، حاول تطبيقه عددياً على حالة الهلال.

وهكذا سعى ابن قرة إلى معالجة مسائل علم الفلك بطريقة رياضية دقيقة. لقد تعرض لهذه المسائل في كل شموليتها، ودرس بطريقة هندسية بحتة الهيئات التي اقترحها بطلميوس، دون أن يشكك في صحة تلك الهيئات. لقد اعترف بأن الدقة الجيدة للنتائج المستخرجة عن طريق الاستدلال البحت، لا يمكن تأمينها دائماً في النتائج الرصدية، وذلك لأن «ما يدرك بالحواس لا يمكن أن يصل إلى مثل تلك الدقة»[٤٤]. إن التثبت من النتائج النظرية بواسطة الرصد يبقى دائماً ضرورياً، لذلك يكرس ابن قرة خاتمة كتابه النظري البحث عن قابلية رؤية الهلال، للتحدث عن هذه الفكرة، وعن شروط الرصد وعن العوامل الشخصية المتعلقة بمزايا الراصد.

٤ ـ البتاني

لقد ظهر في المنعطف بين القرنين التاسع والعاشر للميلاد، عالم فلك ذو شهرة عظيمة، هو البتاني الذي ولد في أواسط القرن التاسع وتوفي في سنة ٣١٧ هـ/ ٩٢٩م. أصله من حران كثابت بن قرة. وقد أمضى أكبر قسم من حياته في الرقة، على ضفاف الفرات في شمال سوريا الحالية، حيث أجرى أرصاداً عديدة ذات جودة عالية، طيلة أكثر من ثلاثين سنة في مرصده الشخصي. وقد حرر خلاصة أعماله في مؤلف ضخم هو **الزيج الصابىء**[٤٥]. كان لهذا المؤلف تأثير كبير على علم الفلك في الغرب اللاتيني خلال القرون الوسطى وفي بداية النهضة الغربية. وسبب ذلك أن كتابه كان، من ذلك العصر، المؤلف الكامل الوحيد في علم الفلك العربي الذي تُرجم بكامله إلى اللاتينية في القرن الثاني عشر (ثم مباشرة إلى الإسبانية في القرن الثالث عشر للميلاد). وقد ذكر في ذلك

---

(٤٤) انظر: Thābit Ibn Qurra, *Œuvres d'astronomie,* p. 108, ligne 6.

(٤٥) الإسم الكامل لهذا المؤلف هو: أبو عبد الله محمد بن جرير بن سنان البتاني الصابيء الحراني.
انظر: Albategnius, *Al-Battānī, sive Albatenii Opus Astronomicum (al - Zīj al-Ṣābī'),* édition du texte arabe, traduction latine et commentaire par Carolo Alphonso Nallino, Publicazioni del Reale osservatorio di Brera in Milano, I-III, 3 vols. (Milano: Mediolani Insubrum, Prostat apud U. Hoeplium, 1899 - 1907), réimprimé en 1 vol. (Hildesheim; New York: G. Olms, 1977).

الزمن باسم «البتِّيني» (Albategni) أو «ألبتِّينيوس» (Albatenius). وكان كتابه المؤلف الوحيد الكبير الأهمية في علم الفلك الشرقي ذي التقليد العربي، الذي عُرف ودُرس حتى عهد قريب نسبياً. لهذا السبب كان البتاني عظيم الشهرة، وكان يعتبر «أكبر عالم في الفلك العربي» من قبل المؤلفين المتتالين لمعظم الموجزات في تاريخ علم الفلك.

لقد كان البتاني بالفعل من أكبر الرصّاد، ولكن ليس لعمله في علم الفلك النظري أهمية كبرى. فقد تبع، بشكل كامل تقريباً، من سبقه مباشرة من العلماء العرب. ولم يستشهد بهؤلاء أبداً بشكل واضح، بل استند غالباً إلى بطلميوس. أعاد البتاني حساب بعض الوسائط، وقارن نتائج أرصاده الخاصة ببعض نظريات سابقيه دون أن ينقد تلك النظريات أو يزيد عليها بشكل يستحق الذكر.

وهكذا يكمن إسهام البتاني الأساسي في ميدان الرصد الخالص. لقد قاس، بدقة فائقة، ميل فلك البروج (23;35). ووجد أن أوج الشمس على فلك البروج يقع على بعد 22;50,22 من برج الجوزاء. وهذه القيمة هي، في عصر البتاني، أقرب بكثير إلى القيمة الحقيقية من تلك التي وردت في كتاب **في سنة الشمس** ذاته. وبذلك أكد حركية أوج الشمس. وقد حسب طول السنة المدارية فوجده مساوياً لـ 365;14,26، وهذه القيمة أقل صحة، بالنقصان، من تلك التي وردت في نفس كتاب **في سنة الشمس**. تبنى البتاني قيمة ثابتة مبادرة الاعتدالين التي وردت في **الزيج الممتحن**، وهي المساوية لدرجة واحدة كل ٦٦ سنة؛ وذلك بعد أن دقق في صحتها دون أن يذكر المصدر الذي استند عليه. وهذا ما سمح له بإعادة حساب أرقام جدول الكواكب الثابتة الوارد في **المجسطي**، فخفض عددها إلى أقل من النصف (٤٨٩ بدلاً من ١٠٢٢).

إن رصده الأكثر شهرة هو، بحق، رصد تغير زاوية الرؤية لكل من الشمس والقمر. وهذا ما جعله، يستنتج، لأول مرة في تاريخ علم الفلك، أن كسوفات الشمس الحلقية ممكنة، لأن زاوية رؤية القمر، في حدها الأدنى، يمكن أن تكون أصغر بقليل من زاوية رؤية الشمس. لقد أكد، في الواقع، أن زاوية رؤية القمر، عند قرانه مع الشمس، تتغير من 0;29,30 إلى 0;35,20 (التغيير الحقيقي هو من 0;29,20 إلى 33,30 ;0) وأن زاوية رؤية الشمس تتغير من 31,20 ;0 إلى 0;33,40 (التغير الحقيقي هو من 0;31,28 إلى 0;32,32). أما بطلميوس فقد اعتبر أن زاوية رؤية الشمس ثابتةٌ ومساويةٌ لـ 0;31,20 ــ دون أن يأخذ بعين الاعتبار، وهذا أمر غريب، تغير مسافة الشمس إلى الأرض في حركتها على الفلك الخارج المركز ـ وأن هذه القيمة هي أيضاً الحد الأدنى لزاوية رؤية القمر، مما يمنع إمكانية الخسوف الحلقي(٤٦).

(٤٦) حول الأرصاد المختلفة، انظر: المصدر نفسه (الترجمة والشرح موجودان في الجزء الأول، والنص=

سنحاول، في الختام، أن نلخص بسرعة العمل الذي أنجز في علم الفلك، في عهد العباسيين خلال القرن التاسع للميلاد. نستطيع أن نقول إن بحوثاً مبتكرة قد أجريت في هذا الميدان منذ أن وضعت المراجع الأساسية لهذا العمل تحت تصرف العلماء. وكانت هذه المصادر هندية وفارسية وسريانية، وخاصة يونانية. وكان العمل في ترجمة المصادر السابقة إلى العربية، متزامناً منذ البداية وطيلة القرن التاسع، مع العمل في البحث العلمي الصرف سواء في علم الفلك أو في العلوم الدقيقة الأخرى(٤٧).

بدأ العمل بشكل حقيقي في البحوث الفلكية عندما تم وضع برنامج شامل للأرصاد المتواصلة في عهد الخليفة المأمون قُبيل سنة ٨٣٠م. وقد شجع المأمون كثيراً هذه البحوث الأساسية، كما فعل ذلك، من بعده، العديد من الخلفاء. وكان واضحاً، منذ ذلك العصر، أن علماء الفلك كانوا يشددون على دقة الآلات وعلى ضرورة القيام بأرصاد متواصلة ومكررة ـ للشمس والقمر في دمشق وبغداد، في أول الأمر على الأقل، ولكل الكواكب بعد ذلك ـ بينما لم ترد في المصادر القديمة إلا نتائج لأرصاد منعزلة في المكان والزمان. وقد تم تطوير ومتابعة هذا البرنامج، طيلة الفترة التاريخية اللاحقة.

ويجب أن نشدد أيضاً على المظهر الجماعي لهذا العمل حتى خارج إطار الأرصاد الصرفة، إذ إننا نجد آثاراً كثيرة لمراسلات علمية، بين علماء فلكيين، مذكورة في مؤلفات فهرسية عربية قديمة تخص ذلك العصر، فضلاً عن وجود مؤسسات عامة ممولة من السلطة المركزية مثل مرصد بغداد ومرصد دمشق. وهكذا نستطيع الكلام عن تكوين «مدرسة بغدادية» حقيقية في علم الفلك في القرن التاسع للميلاد.

كان التفاعل مستمراً بين النظرية والرصد عند الفلكيين العرب، وذلك بشكل منظم فاق بكثير ما جرى في علم الفلك الهِلِّينستي. وهذا ما سمح باكراً بنقد، حادٍ في بعض الأحيان، لبعض نظريات ونتائج بطلميوس. لكن ذلك جرى فقط من داخل النظام والهيئات الهندسية المقترحة من قبل بطلميوس.

= العربي في الجزء الثالث، والجداول في الجزء الثاني): ميل فلك البروج: الترجمة ص ١٢، الشرح ص ١٥٧ ـ ١٦٢، النص العربي ص ١٨ الخط ١٤؛ أوج فلك الشمس: الترجمة ص ٧٢، النص العربي من ص ١٠٧ الخط ٢٣ إلى ص ١٠٨ الخط ٧؛ السنة المدارية: الترجمة ص ٤٢، الشرح ص ٢١٠ ـ ٢١١، النص العربي من ص ٦٣ الخط ٢٢ إلى ص ٦٤ الخط ١؛ مبادرة الإعتدالين: الترجمة ص ١٢٨، النص العربي ص ١٩٢ الخطوط ١ ـ ٤؛ جدول النجوم الثابتة: الترجمة ص ١٤٤ ـ ١٨٦، النص العربي ص ٢٤٥ ـ ٢٧٩؛ زوايا رؤية الشمس والقمر: الترجمة ص ٥٨، الشرح ص ٢٣٦ ـ ٢٣٧، النص العربي ص ٨٨ الخطوط ٣ ـ ١٥.

(٤٧) حول هذه المسألة، انظر: Roshdi Rashed, «Problems of the Transmission of Greek Scientific Thought into Arabic: Examples from Mathematics and Optics,» *History of Science*, vol. 27 (1989), pp. 199 - 209.

لقد أُحرز تقدم خلال القرن التاسع، في علم المثلثات الكروية المعتبر آنذاك كـ «علم مساعد» فقط لعلم الفلك. وهذا ما أجاز القيام باستدلالات هندسية على أقواس الكرة السماوية، بشكل أكثر دقة وإعداداً، بفضل الاستخدام المنهجي للجيوب والجيوب التمام، وبفضل إدخال الظلال وظلال التمام(٤٨). وأخيراً، لقد بدأ ابن قرة بحوثاً من أجل تطبيق في علم الفلك للنتائج التي حصل عليها الرياضيون، الذين غالباً ما كانوا فلكيين في نفس الوقت. وقد تابع أغلب الفلكيين الكبار اللاحقين هذه البحوث، فكان من نتيجة ذلك أن تأكدت الصفة العلمية تدريجياً للدراسات الفلكية.

هكذا وجدت التطورات اللاحقة في علم الفلك العربي بذورها في هذا القرن التاسع، وخاصة في بغداد حيث تم عملياً إعداد برنامج العمل وطرقه التي اتبعت بعد ذلك، دون تغيير يذكر على الأقل في مبادئها الأساسية، خلال عدة قرون.

ثالثاً: علم الفلك في القرنين العاشر والحادي عشر حتى البيروني

رأينا في المقدمة كيف حدثت، بين القرنين العاشر والحادي عشر للميلاد، تطورات حاسمة في مجال تصميم وتنظيم المراصد الثابتة ذات الحجم الكبير، في بغداد وإيران. وسيظهر الفصل الخامس عشر الخاص بالمثلثات أهمية النتائج المكتسبة خلال القرن العاشر في تطور هذا العلم الذي ترتبط به جزئياً دقة الحسابات الفلكية.

ولم يُنقل بشكل كامل غير جزئي إلا القليل من نصوص علم الفلك النظري لتلك الحقبة. ومن المفارقة أن يكون وصف تطور علم الفلك الشرقي العربي في القرن العاشر، أصعب من وصفه في القرن التاسع للميلاد. لذلك سوف نأخذ ببساطة ثلاثة أمثلة عن علماء تلك الحقبة، الذين عملوا، على ما يظهر، بشكل أكثر انعزالاً من علماء القرن الأسبق. بعد ذلك سنتوقف عند مجموعة أولئك العلماء الذين تتالوا من أستاذ إلى تلميذ حتى البيروني. عاش البيروني في قسم من القرن العاشر وفي قسم من القرن الحادي عشر، وبه تختم هذه الفترة الأولى من علم الفلك الشرقي.

١ ـ أبو جعفر الخازن، عبد الرحمن الصوفي وابن يونس

كان أبو جعفر الخازن رياضياً لامعاً، أصله من خراسان. قضى قسماً من حياته في ريّ وتوفي بين سنتي ٣٥٠ و٣٦٠هـ/ ٩٦١ و٩٧١م. ألف عدة كتب في علم الفلك

---

(٤٨) انظر الفصل الخامس عشر من الجزء الثاني من هذه الموسوعة وهو بعنوان «علم المثلثات: من الهندسة إلى علم المثلثات».

النظري، لم يبق لنا منها في هذا الميدان إلا بعض مقتطفات، من كتابه **شرح المجسطي**، تدور خاصة حول حساب المثلثات. إن إشارات بعض المؤلفين الذين جاؤوا من بعده، وخاصة البيروني، إلى أعماله تدل على أهمية هذه الأعمال بالنسبة إلى خلفائه. درس الخازن حركة الشمس، وبعكس البتاني، سلم بنتيجة رصد بطلميوس حول القيمة الثابتة لزاوية رؤية الشمس، وهذا ما اقتضى منه أن تكون مسافة الأرض إلى الشمس ثابتة. فاقترح هيئة جديدة لحركة الشمس، ليس على فلك خارج المركز، بل على دائرة مركزها الأرض، بحيث تكون الحركة مستوية حول نقطة خارجةٍ عن مركز العالم، وذلك بشكل مشابه لحركة فلك التدوير حول «نقطة معدل المسير» في هيئة بطلميوس للكواكب العليا[(٤٩)]. وهذه هي حالياً النقطة الوحيدة التي تظهر لنا أنه قد قام بتقويم نقدي لهيئات بطلميوس.

ألف الخازن كتاباً آخر هو **كتاب في سر العالمين** وهو مفقود حالياً بأكمله. وقد اقترح فيه نظرية كلية جديدة للكون استناداً إلى نتائج بطلميوس في **كتاب الاقتصاص**[(٥٠)]. وقد كان لهذا المؤلف، بعد قرن من ظهوره، تأثير أكيد بشكل لا يمكن تحديده بدقة حتى الآن، على القسم، من أعمال ابن الهيثم، المكرس لعلم وصف الكون، والمرتبط بنقده لنظام بطلميوس، والمستند بالفعل، في أغلب الأحيان، على حججٍ من نوع وصفي للكون[(٥١)].

ولد عبد الرحمن الصوفي (٢٩١ ـ ٣٧٦هـ/ ٩٠٣ ـ ٩٨٦م) في مدينة ريّ وعمل في شيراز وأصفهان. وقد ذُكر العديد من أرصاده حول ميل فلك البروج وحركة الشمس وطول السنة الشمسية. ولكنه اشتهر على الأخص بمؤلفه **كتاب صور الكواكب الثابتة**[(٥٢)] المحرر حوالى عام ٩٦٥م، وهو مقتبس من جدول الكواكب الثابتة الوارد في **المجسطي**. حدد الصوفي موقفه، في مقدمة هذا الكتاب، من صانعي الكُرات السماوية ومن علماء الفلك العرب التابعين للجيل السابق، الذين درسوا الكواكب الثابتة، منتقداً الطريقة التي

---

(٤٩) انظر: أبو الريحان محمد بن أحمد البيروني، **القانون المسعودي**، صحح عن النسخ القديمة الموجودة في المكاتب الشهيرة، تحت إعانة وزارة معارف الحكومة العالية الهندية، ٣ ج (حيدر آباد الدكن: مطبعة مجلس دائرة المعارف العثمانية، ١٩٥٤ ـ ١٩٥٦)، ص ٦٣٠ ـ ٦٣٢ و١٣١٢، حيث ذُكِر أيضاً كتاب **حول أحجام ومسافات الكواكب** للكاتب نفسه.

(٥٠) أشار الخرقي الثابتي، وهو مؤلف في القرن الثاني عشر، إلى الخازن، وفي الوقت نفسه، إلى أعمال لابن الهيثم مشابهة لأعمال الخازن. وذلك في مقدمة كتاب له في علم الهيئة هو: **منتهى الإدراك في تقاسيم الأفلاك**. المخطوطة موجودة في المكتبة الوطنية في باريس، فرنسا، تحت الرقم Ar. 2499.

(٥١) انظر الفصل التالي.

(٥٢) انظر: عبد الرحمن بن عمر الصوفي، **كتاب صور الكواكب الثمانية والأربعين** (حيدر آباد الدكن: جمعية دائرة المعارف العثمانية، ١٩٥٣)، أعيد طبعه في (بيروت: دار الآفاق الجديدة، ١٩٨١)؛ الترجمة الفرنسية لـ: H. C. F. C. Schjellerup, *Description des étoiles fixes; composée au milieu du dixième siècle de notre ère, par l'astronomie persan 'Abd al-Raḥmān al-Ṣūfī* (St. Pétersbourg: Commissionaires de l'Académie impériale des sciences, 1874), réimprimé (Frankfurt: [s. n.], 1986).

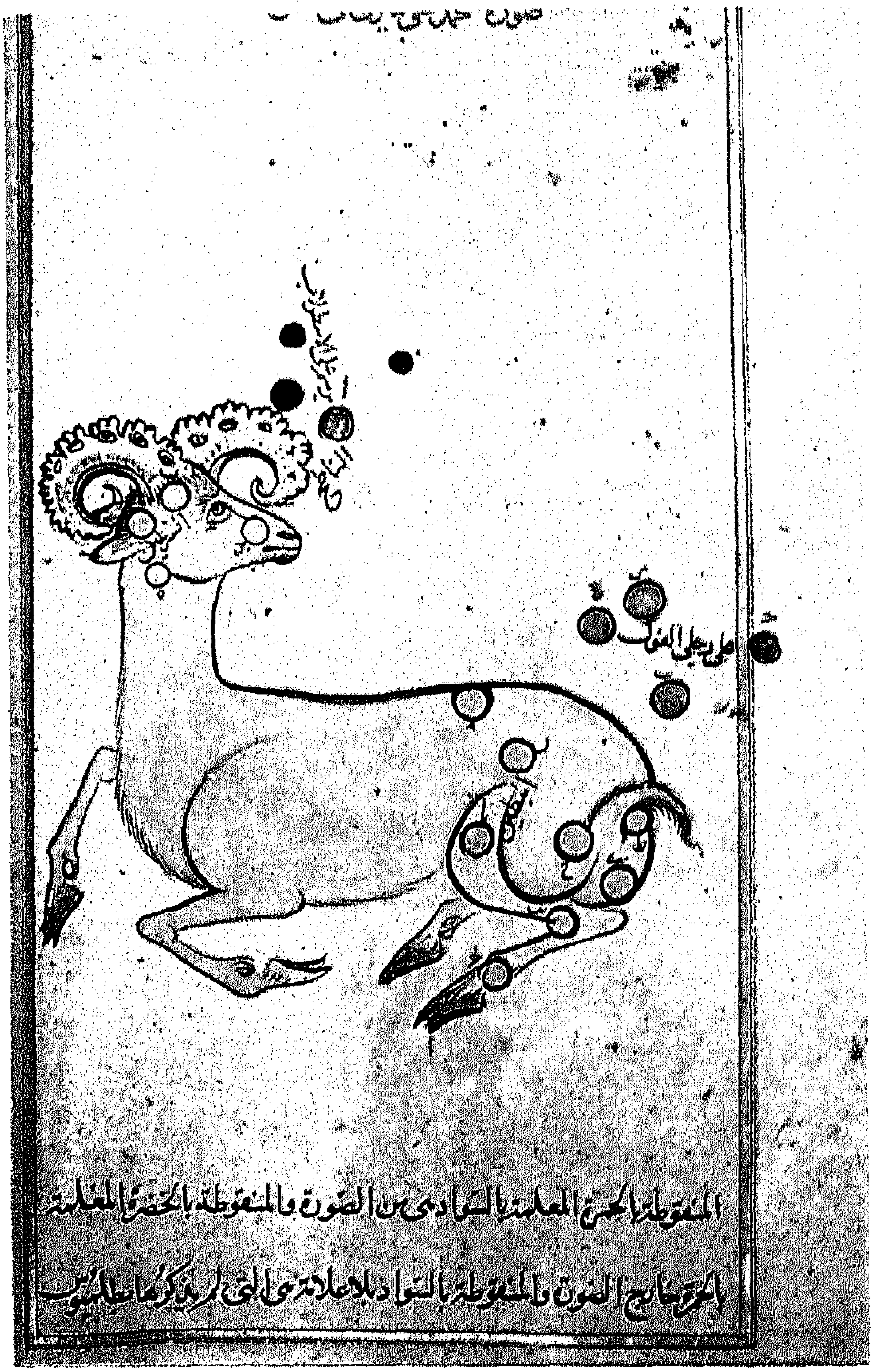
درست بها بعض مجموعات النجوم. وتبنى قيمة ثابتة مبادرة الاعتدالين التي حُسبت في عهد المأمون، من قبل مؤلفي **الزيج الممتحن**، وهي المساوية لدرجة واحدة لكل ٦٦ سنة، بدلاً من درجة واحدة لكل قرن كما قرر بطلميوس. ولم يقم الصوفي بتعديل بسيط لجدول **المجسطي** فقط، أي بتغيير قوس طول كل كوكب وفقاً لتصحيح حركة مبادرة الاعتدالين بين القرن الثاني والقرن العاشر للميلاد. بل قام بمراجعات كثيرة، بواسطة الرصد، لمراتب عظمة الكواكب ولأقواس أطوالها على فلك البروج ـ وقال بنفسه انه احتفظ بقيم أقواس عروض الكواكب التي سجلها بطلميوس ـ وأدخل فكرة الإشارة إلى الألوان الظاهرية للكواكب الرئيسية. انتشر هذا الكتاب بشكل واسع باللغة العربية، ثم تُرجم ونُقل إلى اللاتينية ابتداءً من القرن الثاني عشر للميلاد ـ ودُوِّن اسم مؤلفه على شكل «أزوفي» (Azophi) ـ فكان من نتيجة ذلك أن أعطيت أسماء من أصل عربي للكثير من النجوم في الغرب.

وصفت المجموعات النجمية الثماني والأربعون، في هذا الكتاب، حسب نفس المخطط: يتم في أول الأمر تقديم المجموعة المعينة مع ذكر جميع نجومها ومختلف الأسماء العربية التي أمكنت نسبتها إلى هذه النجوم. وبعد ذلك يُعطى جدول بإحداثيات النجوم على فلك البروج، وبأبعادها. تحتوي كل نسخة من نسخات الكتاب، في الأصل، على رسوم صغيرة تمثل الأشكال الأسطورية لمختلف مجموعات النجوم، مع مواقعها. كل مجموعة مرسومة مرتين بشكل متناظر: «كما ترى في السماء» و«كما ترى على الكرة» ـ أي على شكل من خشب أو من معدن يمثل الكرة السماوية ـ وهذا ما يسهل تحديد مواضع مجموعات النجوم حتى للمبتدىء. يخصص المؤلف كتابه لاستخدام مزدوج، نظري وعملي في آن واحد، كالتوجه على الأرض، وعلى البحر مثلاً، وهذا ما ساهم في نجاح الكتاب. إن الرسوم المرفقة هنا تدل على جودة وتنوع تصاوير مجموعات النجوم الواردة في مخطوطات هذا الكتاب الشهير.

فنرى عينها شمالا ومثالها يمينا ونراها في السماء على حقيقتها لانا ننظر اليها من
وسط الكرة من اسفل الى فوق وصورنا الكل كوكبة صورتين احديهما على ما يقع
في الكرة والاخرى على ما يرى في السماء لتكون قد احطنا بالحالين المختلفين
فلا يقع التباس على من يتأمل ذلك اذا راى ما في الكرة مخالفا لما في السماء
فمتى اردنا ان نرى الصورة على جهتها رفعنا الدفتر فوق روسنا
ونظرنا الى الصورة الثانية من تحتها فانا نراها على ما في السماء

الصورة رقم (٢ ـ ٤)
الصوفي، كتاب صور الكواكب الثابتة
(طهران، مخطوطة مالك، ٦٠٣٧).

رسم الصوفي بنفسه البروج في كتابه، وتبعه الناسخ في رسومات فنية، يعتبر كل منها في حد ذاته عملاً فنياً مميزاً. وتمثل هذه الصورة رسم الدب الصغير.



الصورة رقم (٢ ـ ٥)
الصوفي، كتاب صور الكواكب الثابتة
(طهران، مخطوطة مالك، ٦٠٣٧).

رسم الصوفي بنفسه البروج في كتابه، وتبعه الناسخ في رسومات فنية، يعتبر كل منها في حد ذاته عملاً فنياً مميزاً. وتمثل هذه الصورة رسم الحمل.

الصورة رقم (٢ ـ ٦)

الصوفي، كتاب صور الكواكب الثابتة

(طهران، مخطوطة مالك، ٦٠٣٧).

رسم الصوفي بنفسه البروج في كتابه، وتبعه الناسخ في رسومات فنية، يعتبر كل منها في حد ذاته عملاً فنياً مميزاً. وتمثل هذه الصورة رسم العذراء.

٢ ـ ابن يونس (المتوفى سنة ٣٩٩ هـ/ ١٠٠٩ م)

عالم فلك كبير مصري. كان راصداً على الأخص. عمل في القاهرة في المرحلة الأولى من عهد الفاطميين. كان مرصده على جبل المقطم في شرق القاهرة، على الأرجح. أهم مؤلفاته هو **الزيج الحاكمي الكبير**، باسم السلطان الفاطمي الحاكم الذي تولى السلطة في القاهرة من سنة ٣٨٦ هـ/ ٩٩٦م إلى سنة ٤١١ هـ/ ١٠٢١م. وهو مؤلف ضخم من واحد وثمانين فصلاً، لم يحفظ منه سوى ما يزيد قليلاً على النصف(٥٣). أراد ابن يونس أن يؤلف كتاباً كاملاً في علم الفلك، محتوياً على أكبر عدد ممكن من الأرصاد السابقة له، بعد إحصائها وتحليلها ونقدها وإغنائها بنتائج أرصاده الخاصة المتعددة. وهذا ما سمح بالاطلاع على كثير من وثائق القرنين التاسع والعاشر للميلاد العلمية التي لم تعرف إلا بفضل استشهاداته بها في هذا الكتاب.

لا يوجد في هذا المؤلف إلا عدد قليل جداً من الاستدلالات النظرية. إنه زيج بالمعنى الحقيقي للكلمة، أي أنه مؤلف متمحور فقط حول تحضير جداول حركات الكواكب، مع حساب مختلف الوسائط وشرح طريقة استخدامها. إن دقة أرصاد ابن يونس، منذ أن وضعت نتائجها تحت تصرف العلماء بفضل الترجمة في بداية القرن التاسع عشر، قد استخدمت من قبل علماء معاصرين، على سبيل المثال من أجل معرفة أفضل للتسارع القرني للقمر.

٣ ـ البيروني

ولد البيروني في خوارزم سنة ٣٦٢ هـ/ ٩٧٣ م، وتوفي حوالى ٤٤٠هـ/١٠٤٨م في غزنة (الموجودة حالياً في أفغانستان). كان تلميذاً لأبي نصر منصور بن عراق الذي كان بدوره تلميذاً لأبي الوفاء البوزجاني. كان البيروني يعترف بصراحة، بهذين العالمين كأستاذين له. وقد عمل في ريّ مع الخجندي. وهكذا سهل عليه، بفضل هؤلاء الثلاثة أن يكون رياضياً وفلكياً نظرياً وراصداً في آن واحد.

ولد أبو الوفاء البوزجاني الذي كان رياضياً وعالم فلك في بوزجان سنة ٣٢٨هـ/ ٩٤٠م في إيران وتوفي في بغداد سنة ٣٨٨هـ/ ٩٩٨م. وقد تبع تقليد «مدرسة بغداد» في البحوث الفلكية، هذه المدرسة التي كثر نشاطها، كما رأينا، في القرن السابق، لأنه عمل في هذه المدينة، بعد أن أتم تحصيله العلمي في إطار تلك المدرسة. قام أبو الوفاء بأعماله الفلكية

---

(٥٣) حول نشر وترجمة الفصول الأولى من الكتاب إلى الفرنسية، انظر: Ibn Yūnus, *Le Livre de la grande table hakémite,* partiellement éditée et traduite en français par Caussin, édition séparée des «Notices et extraits des manuscrits de la bibliothèque nationale» (Paris: Imprimerie de la République, an XII (1804)).

في المرصد الكبير الذي بني تحت رعاية شرف الدولة، في حدائق القصر الملكي في بغداد. وأطلق على مؤلفه الرئيس في علم الفلك اسم **المجسطي**. لم يحفظ من هذا الكتاب إلا جزء يدور على الأخص حول مسائل حساب المثلثات، ذلك العلم الذي طوره أبو الوفاء كثيراً(٥٤). لذلك نحن لا نعرف إلا القليل عن التطويرات التي أدخلها أبو الوفاء في علم الفلك النظري والتي كرس لها كتابه، ولكن البيروني أشار مرات عديدة إلى دراساته حول حركة الشمس وحول قيمة ثابتة مبادرة الاعتدالين(٥٥).

إن معلوماتنا عن «الأستاذ» المباشر للبيروني، أبي نصر منصور بن عراق، أقل من تلك التي نعرفها عن البوزجاني الذي كان أستاذه. نعرف أنه توفي سنة ٤٢٧هـ/ ١٠٣٦م في غزنة. وقد بقي لنا من أعماله، على الأخص، مؤلفات مهمة في علم المثلثات كتبها، جزئياً، بطلب من البيروني نفسه عندما كان يطرح الأسئلة حول نقاط معينة(٥٦). أما الخجندي، المتوفى حوالى سنة ٣٩٠هـ/ ١٠٠٠م، فقد عمل كثيراً في مسألة آلات الرصد وألف فيها عدة كتب. وهو الذي كان المسؤول عن مشروع سدسية ري الكبيرة التي وصفناها في المقدمة.

أما البيروني فهو عالم عظيم، ألف ما يقرب من مئة وخمسين كتاباً في كل العلوم المعروفة في عصره، منها خمسة وثلاثون في علم الفلك البحت. وقد نقلت من هذه الأخيرة ستة كتب فقط. وتتضمن كتبه الأخرى، عن الهند وعن تسلسل الأحداث مثلاً، إشارات عديدة إلى مسائل فلكية. أما مؤلفه الكبير الشامل، في هذا الميدان، فهو **القانون المسعودي** الذي كتبه حوالى سنة ٤٢٦ هـ/ ١٠٣٥م، والحاوي على احد عشر جزءاً، في ١٤٨٢ صفحة حسب النشرة التي صدرت له(٥٧).

---

(٥٤) المخطوطة ذات الرقم Ar. 2494، في المكتبة الوطنية في باريس، فرنسا، كثيرة النواقص، وقد درسها: Le Baron Carra de Vaux, «L'Almageste d'Abū-l-Wéfā' Albūzdjānī,» *Journal asiatique*, 8ème série, tome 19 (mai - juin 1892), pp. 408 - 471.

وقد وضع مؤلف هذه الدراسة حداً لمجادلة أثارها سيديّو (L.A.M. Sédillot) حول اكتشاف أبي الوفاء لحركة تغير القمر، إذ بيّن أن النص لا يتعرض لهذه المسألة.

(٥٥) انظر: البيروني، **القانون المسعودي**، ص ٦٤٠ ـ ٦٧٧.

(٥٦) انظر: Julio Samsó, *Estudios sobre Abū Naṣr Manṣūr b. 'Alī b. 'Irāq* (Barcelona: [n. pb.], 1969).

(٥٧) انظر: D. J. Boilot, «L'Œuvre d'al - Bērūnī: Essai bibliographique,» *Mélanges de l'institut dominicain d'études orientales du Caire*, vol. 2 (1955), pp. 161 - 256.

الصورة رقم (٢ ـ ٧)

أبو الريحان البيروني، **القانون المسعودي**

(القاهرة، مخطوطة المكتبة الوطنية، ميقات ٨٦٦).

نرى في هذه الصورة عنوان كتاب البيروني الشهير في علم الهيئة، ويقسمه المؤلف إلى إحدى عشرة مقالة. ويلخص فيه كل أعمال سابقيه ويقوم بنقدها ثم يعيد تركيبها مضيفاً أرصاداً جديدة قام بها، تتفق مع استدلالاته. وهذا من أهم ما كتب في علم الهيئة في القرن الخامس الهجري/الحادي عشر الميلادي.

كانت الفارسية لغته الأم، أما لغة عمله الرئيسة فكانت العربية، كما كان على معرفة تامة بالسنسكريتية، إذ انه تعامل بها وقام بعدة ترجمات لنصوص علمية من السنسكريتية إلى العربية. وهكذا كان مطلعاً بشكل مباشر على جميع مصادر علم الفلك الهندي التي كان يستند إليها باستمرار. وكان كذلك يرجع إلى المصادر اليونانية أو إلى أعمال سابقيه باللغة العربية. ولم يكن هؤلاء مطلعين، كما يظهر، بعد نقل النصوص السنسكريتية في أواخر القرن الثامن للميلاد، إلا على بعض النصوص الفلكية الهندية، أو على بعض الوثائق غير الأصلية، بينما كانت النصوص اليونانية أكثر انتشاراً. وهكذا استطاع البيروني أن يتناول كامل الإرث الفلكي الموجود في عصره من العالم اليوناني والعالم الهندي والعالم العربي. لذلك سعى، في كل أعماله، إلى البحث بدقة عن خلاصة شاملة له. سوف نتعرض، فيما يلي، لبعض النقاط التي تخص طريقة عمله، دون أن نسعى لتقديم مجموعة أعماله الفلكية بسبب الصعوبة الخاصة لتلك المهمة.

أعطى البيروني في الجزء الأول من **القانون المسعودي** بعض المبادىء العامة التي تخص علم الفلك، وعرض أسس علم التواريخ لدى الثقافات المختلفة، بما فيها الثقافة الصينية. عالج في الفصل الثاني موقع السماوات بالنسبة الى الأرض، فخلص إلى بحث افتراض دوران الأرض حول نفسها لتفسير الحركة اليومية[٥٨]. وقال إن أرياباتا وتلاميذه دافعوا، في الهند، عن هذه الفرضية، ولكنها متعارضة مع إحدى حجج بطلميوس التي تقول بأن دوران الأرض حول نفسها يمنع الأجسام في سقوطها الحر من الوقوع عمودياً على الأرض. أكد البيروني أن «عالماً كبيراً» (لم يذكر اسمه) ادعى أن حجة بطلميوس لا أساس لها من الصحة، لأن كل جسم أرضي يتحرك بحركة الدوران، على طول العمود الذي هو مساره خلال سقوطه. عرض البيروني هذه الحجة التي وجدها متماسكة، على ما يظهر. ثم عاد وراجع هذه المسألة فاهتم بالحركة الأفقية وحسب سرعة نقطة على الأرض في حال افتراض دوران الأرض حول نفسها، فاستنتج من ذلك أنه لا يمكن إلا أن تزاد هذه السرعة الكبيرة إلى الحركات الأخرى للأجسام الأرضية من الشرق إلى الغرب أو أن تنقص منها. وهذا ما لا يتحقق، فليس من الممكن إذن، بالنسبة الى البيروني، أن تكون للأرض حركة دوران حول نفسها.

تبع البيروني، بشكل عام، الخطة التالية في معالجة مسألة معينة من مسائل علم الفلك: يعرض أولاً بعض المبادىء العامة التي تخص المسألة المطروحة، ثم يبسط مختلف الحلول المقترحة من قبل العلماء الهنود وبطلميوس وعلماء الفلك العرب، محللاً وناقداً كل هذا استناداً على المبادىء العامة المعروضة في البداية. ثم يعرض، عند الاقتضاء، قائمة

---

(٥٨) انظر: البيروني، المصدر نفسه، ص ٤٢ ـ ٥٣. انظر أيضاً: Shlomo Pines, «La Théorie de la rotation de la terre à l'époque d'al-Bīrūnī,» *Journal asiatique*, tome 244 (1956), pp. 301 - 306.

بأهم الأرصاد السابقة أو الأكثر تعبيراً عن الظاهرة التي هي قيد الدرس. ويصل أخيراً، بعد بيان أرصاده الخاصة، إلى اختيار أحد الحلول السابقة، أو إلى اقتراح حل شخصي معتمداً على كل ما سبق. لنأخذ مثلاً مسألة قابلية رؤية الهلال كما هي مبينة في كتابه **القانون المسعودي**[٥٩].

حركة الشمس هي موضوع الجزء السادس من هذا الكتاب. أما حركة القمر فهي موضوع الجزء السابع منه. ويعالج الجزء الثامن الظواهر القابلة للرصد التي تخص العلاقة بين حركة الشمس وحركة القمر، أي مسألة كسوف أحد هذين «النيرين» ومسألة قابلية رؤية الهلال. الفصل الثالث عشر من الجزء الثامن مخصص لدراسة السحر والغسق. يفسر فيه البيروني هاتين الظاهرتين على أنهما نتيجة لاقتراب الأفق من حد مخروط ظل الأرض الذي تحدثه الشمس. ويقول البيروني إن «علماء الفلك» ـ دون أن يذكر أسماء هؤلاء ـ حددوا بداية السحر صباحاً من جهة الشرق، أو نهاية الغسق في المساء غرباً، عندما يكون «قوس انحطاط الشمس تحت الأفق» مساوياً لـ 17 أو 18 درجة. ويعالج الفصل الرابع عشر قابلية رؤية الهلال، وهذا ما سنفصله فيما يلي:

المبادىء العامة: إن قدرة البصر على رؤية الهلال تتعلق بعدة عوامل هي: **أولاً**: مسافة القمر إلى الشمس التي تحدد الجزء المضاء من سطح القمر، **ثانياً**: مسافة الأرض إلى القمر التي ترتبط بها الضيائية الظاهرة للجزء المضاء من القمر، **ثالثاً**: ضيائية الجو على الأفق المتعلقة بميل فلك البروج على الأفق، أي بمكان الشمس على فلك البروج وبعرض المكان في نفس الوقت، **رابعاً**: مسافة مكان أفول القمر على الأفق من «نقطة الأفق الأكثر إشراقاً»، أي من الخط العمودي لمكان الشمس تحت الأفق[٦٠].

ويستنتج البيروني مما سبق أنه يجب أخذ جميع هذه الوسائط بعين الاعتبار وبكل عناية.

الحلول السابقة له: لم يدرس بطلميوس هذه المسألة لأن مشكلة رؤية هلال القمر لم تكن تثير الاهتمام في ميدانه الثقافي. اعتمد أربعة من علماء الفلك العرب السابقين للبيروني، وهم الفزاري، يعقوب بن طارق، الخوارزمي، والنيريزي، على طريقة هندية. فقد أخذوا الفترة الفاصلة بين وقت غروب الشمس ووقت أفول القمر كمعيار لرؤية الهلال. ولكن هذا المعيار غير صالح لأنه لا يسمح بأخذ ميل فلك البروج على الأفق بعين الاعتبار. غير أن النيريزي فاق الثلاثة الآخرين قليلاً لأنه، وخلافاً لهم، أخذ بعين الاعتبار تصحيح اختلاف منظر القمر. أما البتاني فقد أدخل في معياره في آن واحد، بعد

---

(٥٩) انظر: البيروني، المصدر نفسه، ص ٩٥٠ ـ ٩٦٥.

(٦٠) انظر الشكل رقم (٢ ـ ٣) والاستدلال المرتكز عليه، مع مختلف الطرق التي شرحت فيه. لنلاحظ أن البيروني لم يكن على علم، وهذا بديهي، بطريقة ثابت بن قرة، المشروحة أعلاه، التي تتناول ثانية، كل الوسائط المذكورة بشكل أكمل مما تسمح به طريقة حبش.

عدة تصحيحات، المسافة بين الشمس والقمر على خط الاستواء وعلى فلك البروج. ولكنه لم يحسب حساب ميل فلك البروج على الأفق بشكل كافٍ. وأخيراً اتخذ حبش الحاسب «قوس انحطاط الشمس تحت الأفق» كمعيار رئيسي، وهذا الوسيط لا يمكن حسابه إلا بالاستناد على كل الوسائط الأخرى.

النتيجة: لا يعطي البيروني حلاً شخصياً، بل يتبنى طريقة حبش الحاسب. ثم يختم الفصل بشرح طريقة العثور على هلال القمر على الأفق بواسطة أنبوب الرصد الذي وصفناه في المقدمة.

لقد درست مسألة حركة الشمس عند البيروني من قبل و. هارتنر (W. Hartner) وم. شرام (M. Schramm)[٦١]. نجد في هذه الدراسة كل مراحل الخطة السابقة، مع ذكر عدد كبير من أرصاد الشمس وأرصاد البيروني الخاصة في نفس الوقت. ونجد كذلك دراسة رياضية للحركة الظاهرية على فلك خارج المركز، شبيهة بدراسة ثابت ابن قرة التي عرضناها سابقاً. وقد حلل البيروني نتائج المؤلفين الذين سبقوه ونقدها، ثم وضح بشكل نهائي حركة أوج الشمس، وأعاد حساب كل الوسائط وكتب جداول حركتها.

لم يحدث البيروني، بعمل من هذا النوع في علم الفلك، ثورةً على النظام الفلكي الكلي الذي تلقاه، لأنه بقي متمسكاً بنظام أفلاك التدوير والأفلاك الخارجة المراكز كما حددها بطلميوس. ولكنه راجع كل شيء بالتفصيل، متابعاً، على سبيل المثال، حركة ترييض علم الفلك التي بدأها ابن قرة قبله[٦٢] بقرن ونصف من الزمان، ومظهراً بشكل إجمالي دقيق الحالة الفعلية لهذا العلم بكل فروعه في ذلك العصر. إن هذا العمل، إذا أمكن القياس، مشابه للعمل الذي أنجزه بطلميوس قبل البيروني بثمانية قرون في **المجسطي** والذي هدف إلى إعداد دقيق لطريقة علمية، ولكن دون ابتكار كلي مهم، مستعيناً بكل أعمال من سبقه وبالأدوات الرياضية التي كانت تحت تصرف علماء الفلك في عصره.

هكذا أنجز البيروني بمهارة هذا العرض الشامل الذي ختم الفترة الأولى لعلم الفلك العربي. وقد بقي هذا العلم في تلك الفترة ضمن الإطار العام الذي وضعه بطلميوس. بعد ذلك جاء ابن الهيثم الذي عاصر البيروني وبدأ بكسر هذا الإطار، وهذا لم يكن ممكناً لولا عمل البيروني الدقيق.

---

(٦١) انظر: W. Hartner and M. Schramm, «Al-Bīrūnī and the Theory of the Solar Apogee: An Example of Originality in Arabic Science,» in: *Scientific Change* (London: Heinemann, 1963), pp. 206 - 218.

(٦٢) حول تعقيد طرق الاستكمال التي استخدمها البيروني في استعمال الجداول، انظر: Roshdi Rashed, «As-Samaw'al, al-Bīrūnī et Brahmagupta: Les Méthodes d'interpolation,» *Arabic Sciences and Philosophy*, vol. 1 (1991), pp. 101 - 160.

ـ ٣ ـ

نظريات حركات الكواكب في علم الفلك العربي بعد القرن الحادي عشر

جورج صليبا(*)

لقد اتخذنا، في هذا الفصل، القرن الحادي عشر كنقطة انطلاق لدراستنا حول علم الفلك العربي، وذلك لعدة أسباب. السبب **الأول** هو أن علم الفلك العربي توصل في القرن الحادي عشر إلى أن «يتأقلم» بشكل نهائي في البيئة الإسلامية وأخذ يظهر بالأشكال التي تطلبتها منه تلك البيئة. فقد ظهرت عدة أعمال انطوت على نتائج مبتكرة، لم تكن تكراراً للمسائل التي كانت تناقش في التراث الفلكي اليوناني. هذا الإنتاج الجديد في البحوث الفلكية كان يرتكز مباشرة على أعمال عدة فلكيين عاشوا في منعطف القرن السابق، كأبي سهل القوهي، وأبي الوفاء البوزجاني، والبيروني، ومنصور بن نصر بن عراق وغيرهم. ويمكننا، من ناحية أخرى أن نعتبر هذا الإنتاج استكمالاً لأعمال كل من حبش الحاسب، وثابت بن قرة والخوارزمي وغيرهم ممن سبقهم من علماء القرن التاسع للميلاد.

والسبب **الثاني** لاختيار القرن الحادي عشر كنقطة انطلاق هو أن هذا القرن شهد أيضاً ظهور مجموعة من الأعمال التي تجلى فيها اهتمام حقيقي بالأسس الفلسفية لعلم الفلك اليوناني. وقد تكونت نتيجة لذلك مدرسة جديدة من المؤلفين، في المواضيع الفلكية، الذين كرسوا جهودهم بشكل أساسي لإظهار المشاكل التي انطوت عليها النظريات الفلكية اليونانية. ويجب أن نذكر هنا أعمال ابن الهيثم في **الشكوك**، وأبي عبيد الجوزجاني في

(*) أستاذ في جامعة كولومبيا ـ الولايات المتحدة الأمريكية.
قام بترجمة هذا الفصل بدوي المبسوط.

تركيب الأفلاك، وعالم الفلك الأندلسي المجهول الهوية في كتاب **الاستدراك**. ولقد تناول، بعد ذلك، المسائل التي أثارها هؤلاء العلماء الفلكيون، كل من العرضي والطوسي وقطب الدين الشيرازي وابن الشاطر. وقد شكل هؤلاء العلماء الأربعة ما يعرف الآن بـ «مدرسة مراغة»، إذ إن العلماء الثلاثة الأول قد عملوا في المرصد الذي بناه العاهل الإيلخاني هولاكو سنة ١٢٥٩م في مدينة مراغة الواقعة في شمال غرب بلاد إيران الحالية. وإذا أخذنا بعين الاعتبار أعمال هؤلاء فقط، لاستطعنا أن نشير إلى أن القرن الثالث عشر، القرن الذي عاش فيه هؤلاء الثلاثة، شهد قيام ثورة حقيقية في البحوث الفلكية، كما شهد تغييراً جذرياً في المواقف إزاء مسلمات علم الفلك. كما نستطيع القول إن نضج هذا التيار العلمي، الذي نشأ في القرن الحادي عشر، تكامل خلال القرن الثالث عشر، وبلغ أوجه مع أعمال ابن الشاطر في القرن الرابع عشر. لكنه تواصل أيضاً خلال القرنين الخامس عشر والسادس عشر، إذا ما أخذنا بعين الاعتبار أعمال علاء الدين القوشجي (١٤٧٤م)، تلميذ ألغ بك، وكتاب **الهيئة المنصورية** لمنصور بن محمد الدشتاكي (١٥٤٢م) الآتي ذكرهما.

وإذا اعتبرنا أن هذا النوع من الكتابات كان يشكل الدافع الرئيسي للأبحاث الفلكية، بعد القرن الحادي عشر، فعلينا أن نسلم، من وجهة النظر هذه، بأن أعمال عالم كجمشيد بن غياث الدين الكاشي في القرن الخامس عشر، خصوصاً في كتابه **الزيج الخاقاني**، كانت تشكل عودة إلى التقليد القديم الذي كان قد تمثل في أعمال مثل أعمال الخوارزمي والبيروني. وذلك أن الاهتمام في هذه الأعمال الأخيرة كان ينصب على الحسابات الرياضية ولا يتمحور أبداً حول النظريات الفلسفية.

أما العلماء الآخرون الذين برزوا خلال القرنين الخامس عشر والسادس عشر، مثل أبي علي البرجندي، فقد حملوا على عاتقهم، كما يبدو، كتابة شروحات للأعمال السابقة، ولأعمال الطوسي خاصة. ولم ينتج هؤلاء كثيراً من الأعمال الجديدة التي يمكن أن تدرج في نتاج هذه المدرسة أو تلك. أما أعمال بعض العلماء الآخرين مثل **ملخص الجغميني والهيئة الفتحية** للقوشجي، فإنها كانت حقاً على مستوى ابتدائي. وإذا اقتصرنا على هذين الكتابين فقط، فإنا نستطيع القول بأن هذين العالمين لم يقدرا على فهم المنحى الإبداعي الذي أتت به مدرسة مراغة.

سنبين، فيما يلي، أن أعمال علماء مدرسة مراغة لم تشكل فقط نتاجاً مبتكراً في علم الفلك الرياضي، بل انها طبعت أيضاً بطابعها البحوث الفلكية اللاحقة، خصوصاً في الغرب اللاتيني. وقد تكون على الأرجح هي التي أرست قواعد الفلك الكوبرنيكي نفسها.

سنعرض في هذا الفصل المسائل التي تمحورت حولها أعمال هذه المدرسة الجديدة بشكل خاص. وسنناقش بعد ذلك الحلول المختلفة التي اقترحها عدد من المؤلفين.

وسنختم هذا الفصل بتحليل العلاقات التي يمكن أن تربط هذه الحلول المقترحة بدراسات كوبرنيكوس الفلكية.

أولاً: الإشكالات

تضمنت هيئات الأفلاك البطلمية الواردة في كتابي بطلميوس **المجسطي والاقتصاص** مشاكل عديدة، نذكر منها فيما يلي تلك التي كانت تعتبر مهمة: (١) مشكلة المحاذاة، (٢) مشكلة ميل وانحراف فلكي عطارد والزهرة، (٣) مشكلة معدل المسير في هيئة الكواكب العليا، (٤) مشكلة توافق أبعاد الكواكب على اعتبار أنها مرصوفة ضمن طبقات كروية يحتوي بعضها البعض[١]. ويمكن أن نضيف على هذه القائمة مشاكل أخرى غيرها، خاصة إذا اعتبرنا بشكل جدي القوائم المختلفة التي تم جمعها خلال القرون المتأخرة، كالقائمة المنسوبة لمحمد بن القاسم المشهور بالأخوين والتي ترقى إلى السنين الأخيرة من القرن الخامس عشر وأوائل سني القرن السادس عشر. وسنورد فيما يلي قائمة بالمشاكل ـ المسماة «الإشكالات» ـ التي عولجت في رسالة الأخوين، وذلك كمثل نموذجي للدراسة الشاملة التي لقيتها هذه الإشكالات.

فالإشكالات الواردة في علم الفلك تصنف على رأي الأخوين على النحو التالي:

الإشكال الأول يتعلق بالسرعة والبطء والتوسط وهي الحركات التي لا تليق بالفلكيات البسيطة، والتي تتطلب حلاً خاصاً. ففي حالة الشمس مثلاً، يمكن حل هذا الإشكال بشكل سهل، إذا ما اعتمدنا أصل الفلك الخارج المركز أو أصل فلك التدوير.

الإشكال الثاني يتعلق بمظاهر بعض الكواكب، إذ إن أحجامها تبدو في بعض الأحيان أعظم من أحجامها في أحيان أخرى. هذا الإشكال يتضمن مثلاً تعليل كسوف الشمس الكامل عندما تكون الشمس في وسط حركتها الأكثر بطئاً، في حين أن هذا الكسوف يكون حلقياً فقط عندما تكون الشمس في الجهة المقابلة من مدارها حيث تكون حركتها أكثر سرعة، مع العلم بأن الشمس تكون محتجبة وراء جرم ثابت الحجم وهو القمر. ويمكن حل هذا الإشكال تبعاً للهيئة المتبناة لحل الإشكال الأول. فإذا اعتمدنا مثلاً أصل الفلك الخارج المركز يسهل تصور أن الشمس تبدو أصغر حجماً عندما تكون على الفلك الخارج المركز في الجزء الأكثر بعداً، وأكبر حجماً في الجزء الأكثر قرباً.

الإشكال الثالث يتعلق بظاهرات الوقوف والرجوع والاستقامة للكواكب، وهي ظاهرات تتناقض مع الانتظام المفترض لحركات الكواكب. وهنا أيضاً، يمكن أن ينحل

(١) لعرض كامل لهذه المشاكل ولحلولها المقترحة انظر المناقشة المعمقة التالية.

هذا الإشكال بتبني أصل فلك التدوير الذي نستطيع بواسطته أن نعلل تلك الظاهرات الثلاث دون أن يتعارض ذلك مع المبادىء العامة القائلة بأن الحركات الذاتية للأجرام السماوية هي حركات دائرية مستوية.

وهكذا يمكن حل المشاكل الثلاثة التي أشرنا إليها تبعاً للأصول التي كان بطلميوس قد أوردها في كتاب **المجسطي**، وذلك دون إدخال أي شرط مناقض للمبادىء العامة.

الإشكال الرابع هو كون الحركة مستوية حول نقطة هي غير مركز مدار محركها. وهذه هي المشكلة العامة المسماة إشكال معدل المسير. وهي تعم جميع هيئات أفلاك الكواكب، وتدخل بشكل خاص في هيئة أفلاك القمر حيث تكون حركة القمر مستوية حول مركز الأرض وليس حول مركز الفلك الحامل.

لقد أدى هذا الإشكال إلى الكثير من البحوث لأنه بدا وكأنه يشير إلى تناقض في الهيئات البطلمية، بين الفرضيات الفيزيائية والفرضيات الرياضية. وسنورد فيما بعد، وبتفصيل مسهب، الحلول المختلفة التي اقترحت لحل هذا الإشكال.

الإشكال الخامس يقع عند كون الحركة مستوية حول نقطة مع القرب والبعد عنها. وقد تطلب حل هذا الإشكال استخدام مبرهنة رياضية ـ تعرف اليوم باسم «مزدوجة الطوسي» ـ أصبحت جزءاً مكملاً لأغلب الأبحاث الفلكية التالية لاكتشافها.

الإشكال السادس ينجم من ضرورة انحراف قطر كرة متحركة عن مركز الكرة الحاملة المحركة. سوف نوضح هذا الإشكال عند شرح إشكال المحاذاة الذي أشرنا إليه سابقاً. أما هنا، فنشير فقط إلى أن هيئة أفلاك القمر التي اقترحها بطلميوس هي أبرز مثل لهذا الإشكال.

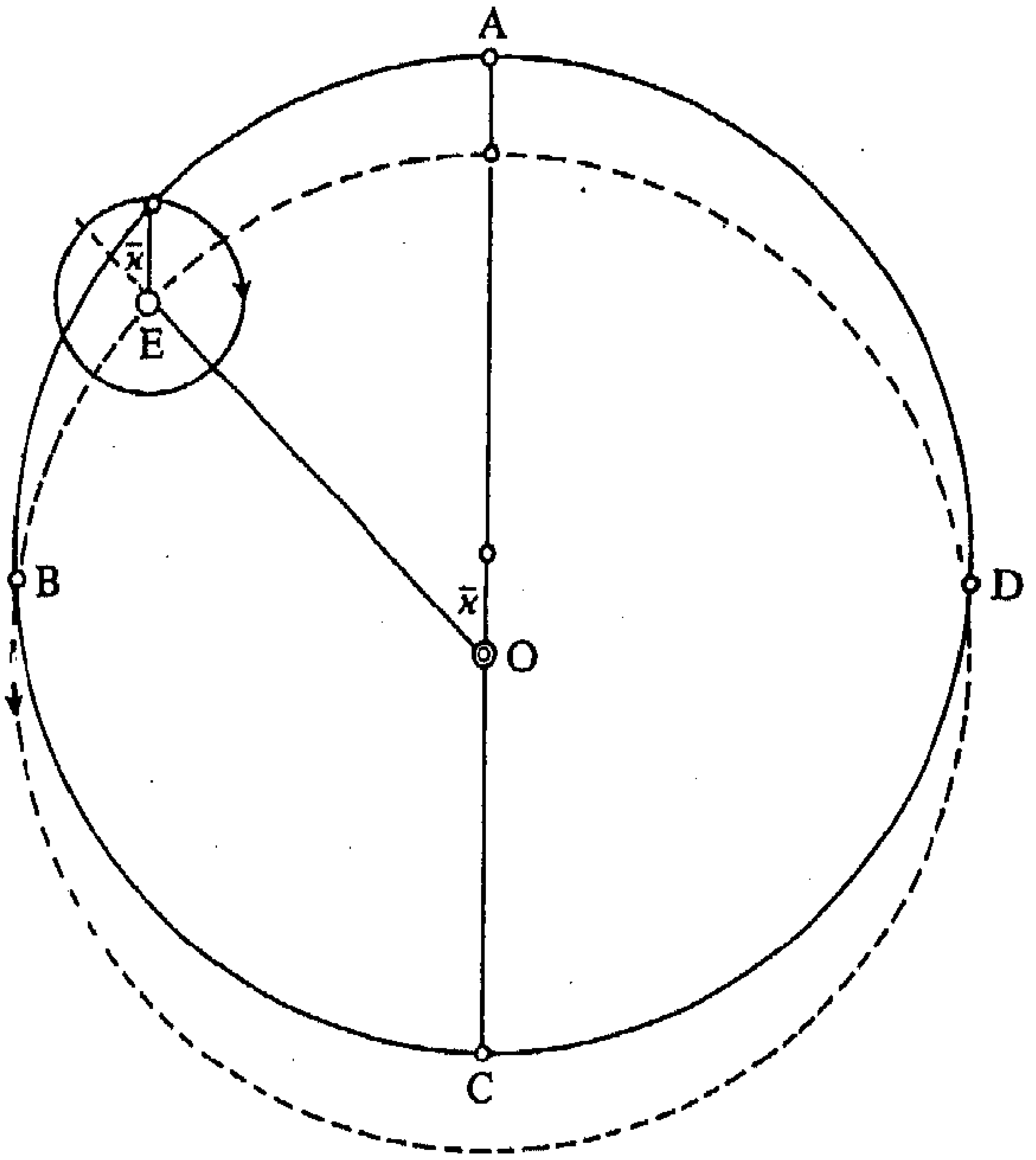
الإشكال السابع يحدث من عدم إتمام الدورة في حركة الأفلاك السماوية. وأفضل مثال يوضح هذا الإشكال هو ما ورد في حركة أقطار تداوير الكواكب السفلية حسب الهيئات البطلمية لهذه الكواكب في العرض. وهذا الإشكال هو أيضاً إشكال الميل والانحراف الذي أشرنا إليه سابقاً.

ثانياً: نظرية بطلميوس حول حركة الكواكب في الطول

سنبدأ بعرض سريع لنظرية بطلميوس حول حركة الكواكب، وذلك لكي نستطيع تقدير أهمية هذه المشاكل وطبيعة الحلول والانتقادات التي وجهت إليها.

١ ـ حركة الشمس

يصف بطلميوس حركة الشمس في الكتاب الثالث من **المجسطي**، تبعاً لأحد الأصلين وهما أصل الفلك الخارج المركز وأصل فلك التدوير. وكان أبولونيوس(٢) قد أقام البرهان على تكافؤ هذين الأصلين. فاقتبس بطلميوس هذا البرهان وجعله جزءاً مكملاً للمفاهيم الواردة في **المجسطي**. ففي الشكل رقم (٣ ـ ١)، يوجد الراصد على النقطة O مركز فلك



الشكل رقم (٣ ـ ١)

البروج. ويمكن أن نتصور أن الشمس تتحرك على الفلك الخارج المركز ABCD بسرعة مستوية بحيث تبدو للراصد القائم على الأرض وكأنها تجري بسرعة عندما تكون في النصف الأسفل BCD من الفلك الخارج المركز، وببطء عندما تكون في القسم الأعلى DAB ـ وبالطبع تبدو سرعتها الدنيا وهي على نقطة الأوج A ـ ويمكن أن توصف حركتها

---

(٢) Otto Neugebauer, «The Equivalence of Eccentric and Epicyclic Motion According to Apollonius,» *Scripta Mathematica*, vol. 24 (1959), pp. 5 - 21,

وقد أعيد نشره في: Otto Neugebauer, *Astronomy and History: Selected Essays* (New York: Springer - Verlag, ©1983), pp. 335 - 351.

بشكل مكافىء وكأنها تجري على فلك تدوير مركزه E بالاتجاه المخالف لتوالي البروج (أي باتجاه السهم المبين على الشكل والذي نسميه هنا الاتجاه «المخالف للتوالي» أو «المتقدم» ونسمي الاتجاه المضاد اتجاه «التوالي»)[٣]. بينما يتحرك مركز فلك التدوير E نفسه على دائرة موافقة المركز (وهي الدائرة المرسومة بالخط المتقطع في الشكل) بحركة مساوية بالقدر، مختلفة في الاتجاه، لحركة فلك التدوير. وهكذا تكون الحركة الناتجة في الحالة الثانية، هي، بالطبع، نفس الحركة الناتجة عن أصل الفلك الخارج المركز. إن أفضل وصف لتكافؤ هذين الأصلين، والحركتين الناتجتين عنهما، هو الذي جاء مسهباً في الفصل الثالث من المقالة الثالثة من **المجسطي**.

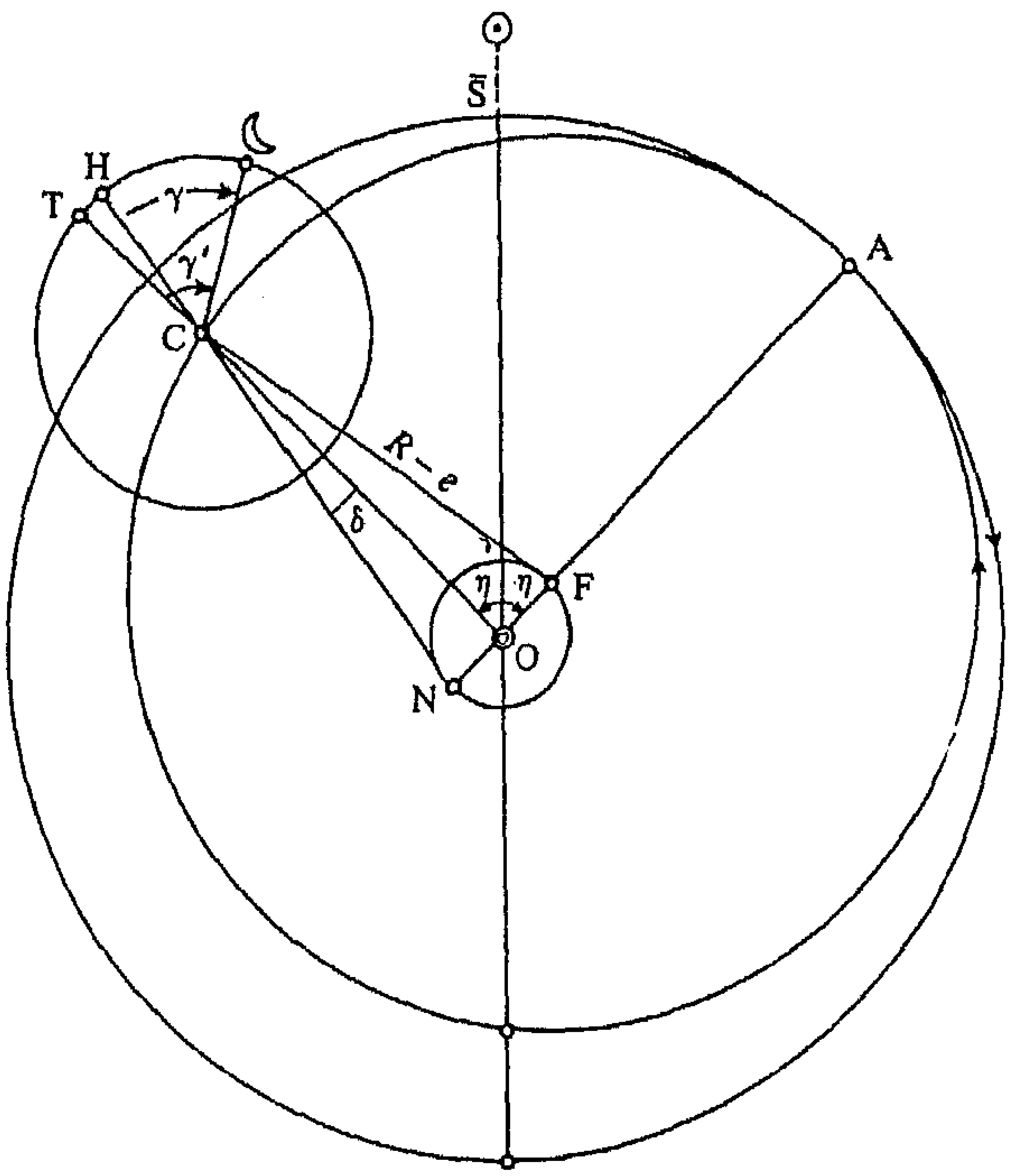
قد يبدو لغير المتخصص أن حركة الشمس تتضمن تناقضاً مع المبادىء الأساسية للحركة المستوية. إلا أن شرح بطلميوس لهذه الحركة، بواسطة الأصلين المشار إليهما، بدا مرضياً تماماً، إذ إن كل الحركات كانت تحدث حقاً حول مركز كرة معينة، حتى ولو كان هذا المركز مغايراً لمكان الراصد حسب أصل الفلك الخارج المركز، فإنه مطابق له في أصل فلك التدوير. وهكذا يمكن تركيب الحركة من حركات مستوية تحدث حول مراكز أُكَر، فتكون بالتالي موافقة للمبادىء الأساسية.

٢ ـ حركة القمر

أما في حالة القمر، فالوضع يختلف تماماً لأن حركته أكثر تعقيداً من حركة الشمس. لقد حاول بطلميوس في أول الأمر، في المقالة الرابعة من **المجسطي**، تطبيق هيئة إبرخس التي هي، بشكل أساسي، امتداد لهيئة الشمس، لكن تبين له بسرعة أن هذه الهيئة لا تفي بالمطلوب إذ إنها لم تنبىء بجميع حركات القمر بشكل صحيح. لذلك تبنى بطلميوس في آخر الأمر، في المقالة الخامسة من **المجسطي**، وبعد بحث مطول بدا كأنه تغيُّر في الرأي،

(٣) لوصف اتجاه الحركة والمسائل المتعلقة بها، انظر: Ptolemy, *Ptolemy's Almagest*, translated and annotated by G. J. Toomer (New York: Springer - Verlag, 1984), pp. 20 and 221, حيث يقول إن النقطة التي تدور بـ «اتجاه عقارب الساعة» تكون «متقدمة [أي بالاتجاه المخالف] بالنسبة لتوالي البروج». أما الفلكيون العرب فقد وصفوا هذه الحركة على أنها «قُدُماً»، وذلك لأنهم تبعوا الإغريق في توهم الكواكب الكائنة على مدار فلك البروج على أشكال حيوانات كالحمل والثور والتوأم والسرطان... الخ... وأنها تطلع على هذا التوالي فوق أفق المشرق، وتدور كلها دورة واحدة كل يوم من المشرق إلى المغرب. فلما كان الحمل دائماً أمام الثور تكون الحركة قدماً، أي نحو الأمام بالنسبة لصورة البرج، عندما تكون من جهة الثور نحو الحمل. ولكن تلك الجهة هي عكس الجهة التي طلعت بها هذه البروج، فلذلك سميت «على خلاف التوالي». وبالطبع فجهة التوالي هي جهة الحركة من الحمل نحو الثور والتوأم والسرطان... الخ، وهي أيضاً جهة حركات الكواكب التي تسمى أحياناً أيضاً من المغرب نحو المشرق. سوف نستخدم في هذا الفصل إصطلاح الحركة هذا كما ورد في النصوص العربية القديمة، أي «على التوالي» و«على خلاف التوالي».

هيئة معقدة لوصف جميع حركات القمر(٤). ففي الشكل رقم (٣ ـ ٢) يفترض الراصد على



الشكل رقم (٣ ـ ٢)

مركز فلك البروج O. ولنفرض أن كرة شاملة، تسمى فلك الجوزهر، تدور بحركة مستوية إلى خلاف التوالي حول مركز العالم، وتحمل معها أوج الفلك الحامل المشار إليه بالنقطة A. أما الفلك الحامل نفسه فيدور بالاتجاه المخالف حول مركزه F، بحيث تبقى الزاويتان SOA وSOC، متساويتين ومتقابلتين. وهكذا يحدث بشكل واضح الإشكال الرابع من إشكالات الأخوين المشار إليها سابقاً. إذ إنا نرى الفلك الحامل يدور بحركة غير مستوية حول مركزه F، بينما يدور بحركة مستوية حول نقطة أخرى هي O. ويفترض في هذه الهيئة أن C، مركز فلك التدوير الذي يحمل القمر L، يدور باتجاه التوالي. أما القمر نفسه فيدور بحركة فلك تدويره إلى خلاف التوالي. وتقاس حركة خلاف التوالي هذه من الخط الخارج من نقطة N ـ وهي النقطة المسماة نقطة المحاذاة المقابلة قطرياً للنقطة F بالنسبة الى مركز العالم ـ

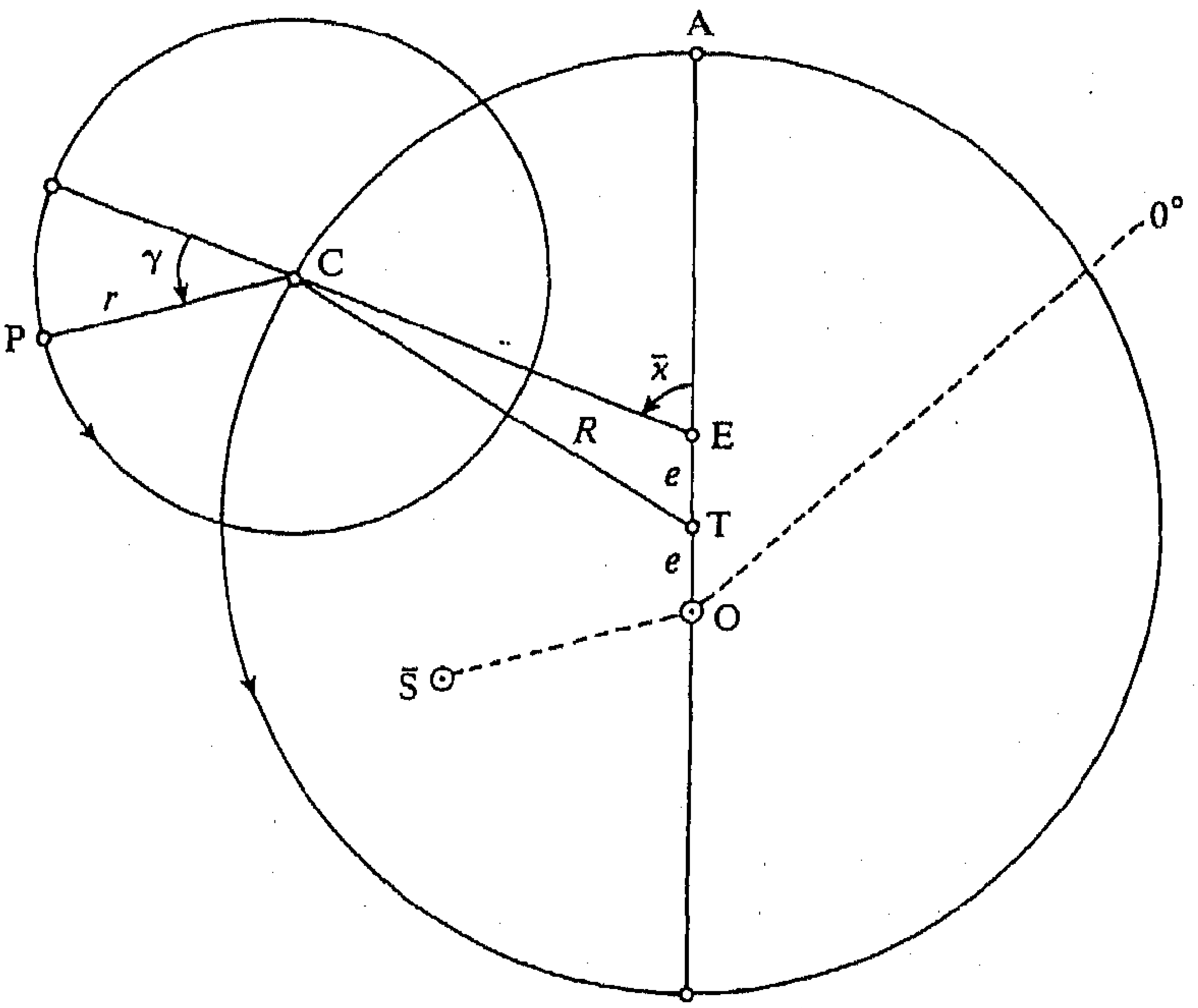
(٤) انظر مثلاً: Viggo M. Petersen, «The Three Lunar Models of Ptolemy,» *Centaurus*, vol. 14, no. 1 (1969), pp. 142 - 171; Olaf Pedersen, *A Survey of the Almagest*, Acta Historica Scientiarum Naturalium et Medicinalium; 30 (Odense: Odense Universitetsforlag, 1974), pp. 167 - 195, and Otto Neugebauer, *A History of Ancient Mathematical Astronomy*, Studies in the History of Mathematics and Physical Sciences; 1, 3 vols. (New York: Springer - Verlag, 1975), pp. 68 ff.

والممتد إلى مركز فلك التدوير C، والمنتهي إلى نقطة الذروة الوسطى H على محيط فلك التدوير. ولما كانت النقطة N دائمة الحركة لكي تبقى أبداً مقاطرة لنقطة F المتحركة، فإنها نقطة غير ثابتة ومع ذلك تقاس حركة القمر ابتداءً منها، مما يؤدي إلى إشكال المحاذاة المشار إليه سابقاً.

وخلاصة ما تقدم أن على المرء أن يقبل في هيئة بطلميوس لحركة القمر تناقضات تنشأ عنها مشاكل خطيرة. وذلك أن الأفلاك السماوية كانت متصورة كأنها كرات حقيقية صلبة (مصمتة)، فيستحيل أن تتحرك هذه الأفلاك بحركة مستوية حول مراكز غير مراكزها الذاتية، أو أن تقاس حركاتها بالنسبة الى نقاط متحركة لا تصلح أن تكون مبدأ لحركات مستوية. لقد تمحورت حول هاتين النقطتين جميع الانتقادات التي وجهت إلى الهيئات البطلمية، وكل التعديلات التي أضيفت إليها.

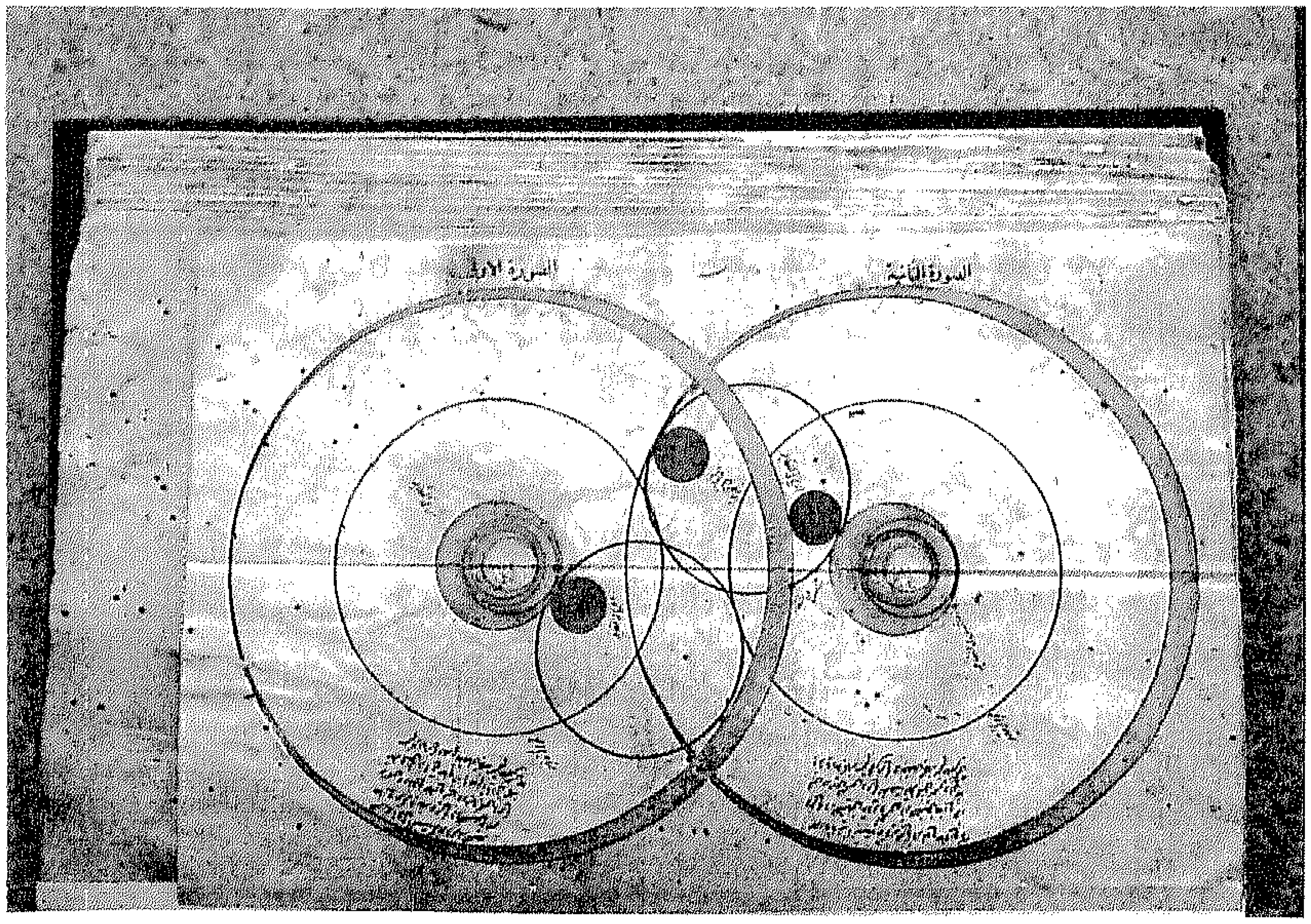
٣ ـ حركات الكواكب العليا (زحل والمشتري والمريخ) وكوكب الزهرة

إن حركات الكواكب العليا، كما تصورها بطلميوس، أكثر بساطة من حركات القمر. وهي تتضمن العناصر التالية: يفترض الراصد، حسب الشكل رقم (٣ ـ ٣)،



الشكل رقم (٣ ـ ٣)

على النقطة O. وتفترض النقطة T مركزاً للفلك الحامل الذي يحمل فلك التدوير ويديره على التوالي. أما فلك التدوير نفسه، فإنه يدور على التوالي حول مركزه C. ويتحرك الكوكب P إلى التوالي بحركة فلك تدويره، وهي حركة مستوية تقاس بزاوية تسمى خاصة الكوكب. أما مبدأ حركة الخاصة هذه فيقاس من امتداد الخط الخارج من مركز فلك التدوير C والمتصوب نحو النقطة E، التي تقع على الخط المار بالمراكز OTA، بحيث يكون بعدها عن مركز الفلك الحامل T، كبعد مركز الفلك الحامل عن مركز العالم O.



الصورة رقم (٣ ـ ١)

نظام الدين النيسابوري، **توضيح التذكرة لنصير الدين الطوسي**

(الهند، مخطوطة رامبور، ٣٧١٦).

لقد شُرح أكثر من مرة كتاب نصير الدين الطوسي في علم الهيئة، المسمى بالتذكرة، ونجد هنا شرحاً متأخراً حول مدارات المريخ.

المشكلة في هذه الهيئة تكمن في حركة الفلك الحامل. وذلك أن الحامل، حسب وصف بطلميوس له، يحرك فلك التدوير إلى التوالي. غير أن مركز فلك التدوير C يقطع أقواساً متساوية في أوقات متساوية ليس حول مركز حامله T بل حول نقطة أخرى E التي

تسمى نقطة معدل المسير. وهكذا فإن بطلميوس الذي يفترض في كتاب الاقتصاص أن الفلك الحامل كرة حقيقية طبيعية، يجبر هذا الفلك أن يدور بحركة مستوية حول مركز مغاير لمركزه. بكلام آخر، إن هذا الوضع يتطلب أن تتحرك هذه الكرة بحركة مستوية على محور لا يمر بمركز تلك الكرة، وهذا محال.

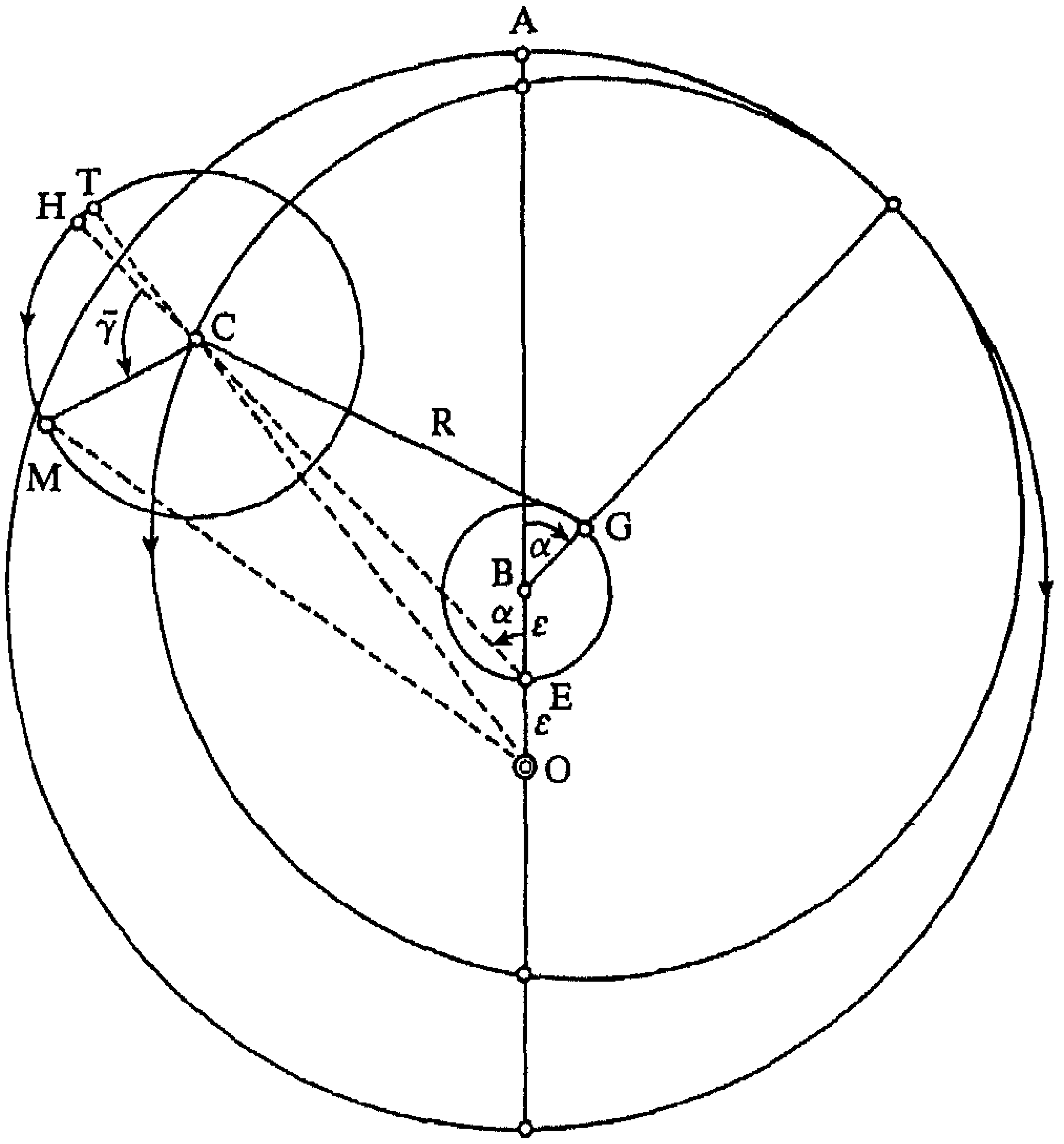
٤ ـ حركة عطارد

نظراً لصعوبة رصد عطارد، بسبب قربه من الشمس وبسبب حركته السريعة نسبياً، تتضمن هيئة بطلميوس الخاصة بهذا الكوكب حركات كثيرة التعقيد لا يمكن إدراجها ضمن الهيئات التي اقترحت حتى الآن. زد على ذلك أن هذا الكوكب يتميز عن باقي الكواكب، إذ كان ينسب لمداره حضيضان بدلاً من حضيض واحد كما كانت الحال في الكواكب الأخرى. وكان يفترض في هذين الحضيضين أن يقعا على نقطتين متناظرتين بالنسبة الى الخط المار بالمراكز بحيث تبعد كل واحدة منهما عن نقطة الأوج بمقدار 120 درجة.

يمكن أن توصف حركة عطارد، بالنسبة الى راصد على مركز العالم O على الشكل التالي[٥]: لنأخذ، حسب الشكل رقم (٣ ـ ٤)، فلكاً شاملاً شبيهاً بفلك جوزهر القمر. ولنفرض أنه يتحرك على خلاف التوالي حول المركز B، بحيث يحرك معه أوج الفلك الحامل. لنفرض أن هذا الأوج يقع على امتداد الخط BG، وأن الفلك الحامل نفسه يدور باتجاه التوالي حول مركزه G، ويحمل معه مركز فلك التدوير C، بحيث يجعل زاوية AEC مساوية دائماً لزاوية ABG. أما فلك التدوير فيدور هو أيضاً باتجاه التوالي حول مركزه C، ويحرك معه الكوكب M، في حركته الخاصة التي تقاس انطلاقاً من امتداد الخط EC. وهذا ما يمكّن مركز فلك التدوير C من أن يقترب من الأرض ـ أي أن يبلغ الحضيض ـ مرتين في كل دورة، وذلك عندما تكون الزاوية ABG مساوية لـ 120 درجة ولـ 240 درجة تقريباً. وفي هاتين الحالتين يمر الخط GC بالنقطة E. وبما أن مبدأ زاوية الخاصة الوسطى يكون دائماً من امتداد الخط EC، فإن النقطة E تلعب دور نقطة معدل المسير في هيئة كوكب عطارد، وهو تماماً الدور الذي لعبته في هيئات الكواكب العليا.

---

(٥) للعرض الهندسي لهيئة عطارد في كتاب المجسطي، انظر: Ptolemy, Ibid., pp. 444 - 445, and Claudius Ptolemaues, *L'Almageste*, traduction française par N. Halma (Paris: [s. n.], 1813 - 1816), réimprimé (Paris: Hermann, 1927), tome 1, pp. 160 - 162.



الشكل رقم (٣ ـ ٤)

وهكذا يظهر بوضوح أن هيئة عطارد تتضمن مشاكل مشابهة لتلك التي رأيناها في هيئتي القمر والكواكب العليا. لنأخذ مثلاً الآلية المقترحة هنا، والتي يتحرك الفلك الحامل بواسطتها باتجاه معين، حول مركز مغاير لمركزه، بينما يتحرك هو نفسه حول مركزه الخاص به بالاتجاه المقابل. إن هذه الآلية مشابهة تماماً لتلك التي تم استخدامها سابقاً في هيئة القمر. إن الفارق الرئيسي بين هاتين الهيئتين هو أن مبدأ زاوية الخاصة الوسطى كان في حالة القمر من امتداد الخط المار بنقطة المحاذاة المتحركة N، بينما تكون النقطة المشابهة في هيئة عطارد ثابتة في منتصف الخط OB، وتلعب دور مركز معدل المسير الثابت الشبيه بالدور الذي لعبته في حالة الكواكب العليا. ويفترض في كلتا الحالتين أن يتحرك الفلك الحامل حول مركزه الخاص به حركة غير مستوية، في حين أن حركته المستوية تتم حول نقطة أخرى، هي مركز العالم في حالة القمر، ونقطة معدل المسير E في حالة عطارد.

فلا عجب إذاً أن تكون الاعتراضات التي أثيرت حول هيئة بطلميوس للقمر ـ وخاصة تلك التي تتعلق بنقطة المحاذاة ـ وحول هيئة الكواكب العليا ـ وخاصة تلك التي تتعلق بمركز معدل المسير ـ هي عينها التي أثيرت أيضاً حول هيئة بطلميوس لفلك عطارد. وذلك لأن هذه الهيئة الأخيرة بدت وكأنها تجمع بين سيئات الهيئتين السابقتين.

ثالثاً: حركة الكواكب في العرض

إن العرض السابق للهيئات التي اقترحها بطلميوس للكواكب يفترض أن قدر حركة الكواكب في العرض لا يحس به، أو أنه، إذا وجد، لا يؤثر على حركة الكواكب في الطول، وهذا غير صحيح. الواقع هو أن الكواكب نادراً ما ترى في سطح فلك البروج حيث تقاس حقاً حركة الكواكب الطولية، وقد يكون للجزء العرضي من الحركة تأثير ملموس في بعض الأحيان، وعندها يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار. ولكن هذا الجزء العرضي كان يعتبر، حسب منهج بطلميوس التقليدي، مجرد تصحيح لحركة الكوكب في الطول، وعليه فقد عولج في فصل مستقل بذاته.

لقد وردت في كتاب **المجسطي** ثلاث هيئات مختلفة لوصف حركات الكواكب في العرض، ألا وهي: هيئة القمر، هيئة الكواكب العليا زحل والمشتري والمريخ، وهيئة الكواكب السفلى الزهرة وعطارد. وهذا الترتيب هو أيضاً ترتيب هذه الهيئات حسب مستوى التعقيد المتزايد فيها.

١ ـ عرض القمر

تتميز هيئة القمر بالبساطة لأن سطح مدار القمر يمر بالأرض، وبالتالي فإن حساب عرض القمر بالنسبة الى الراصد القائم على الأرض يكون قليل الصعوبة. وفي الواقع، إن ميل سطح مدار القمر الثابت بالنسبة الى سطح فلك البروج، وكون الراصد قائماً على مركز فلك البروج، يجعلان حساب عرض القمر شبيهاً جداً بحساب ميل الشمس بالنسبة الى سطح معدل النهار.

ولما كان ميل سطح مدار القمر ثابتاً بالنسبة الى منطقة فلك البروج، بقدر قريب من خمس درجات، فإن العرض الأقصى للقمر قد يبلغ هو أيضاً حوالى خمس درجات. وهذا ما تؤكده الأرصاد بالفعل. ولكن الأرصاد أثبتت أيضاً من جهة أخرى، أن عرض القمر لا يصل دائماً إلى حده الأقصى في مكان معين من منطقة البروج، بل يبدو وكأنه ينتقل من مكان إلى آخر حول هذه المنطقة. وإذا أضفنا إلى ذلك أن الكسوفات الشمسية تقع هي أيضاً في أماكن مختلفة من منطقة البروج، نستنتج أن خط التقاطع بين سطحي مدار القمر ومنطقة البروج، أي خط العقدتين، هو أيضاً متنقل. وهذا لا يمكن أن يحدث إلا إذا تصورنا أن هناك فلكاً شاملاً يحيط بجميع أفلاك القمر الأخرى ويديرها كما يدير أيضاً منطقة الفلك الحامل للقمر حسب تعبير بطلميوس. ويسمى هذا الفلك الشامل «الفلك الممثل»، أو «فلك الجوزهر»، ويفترض به أن يتحرك بحوالى ثلاث دقائق في اليوم الواحد على خلاف التوالي.

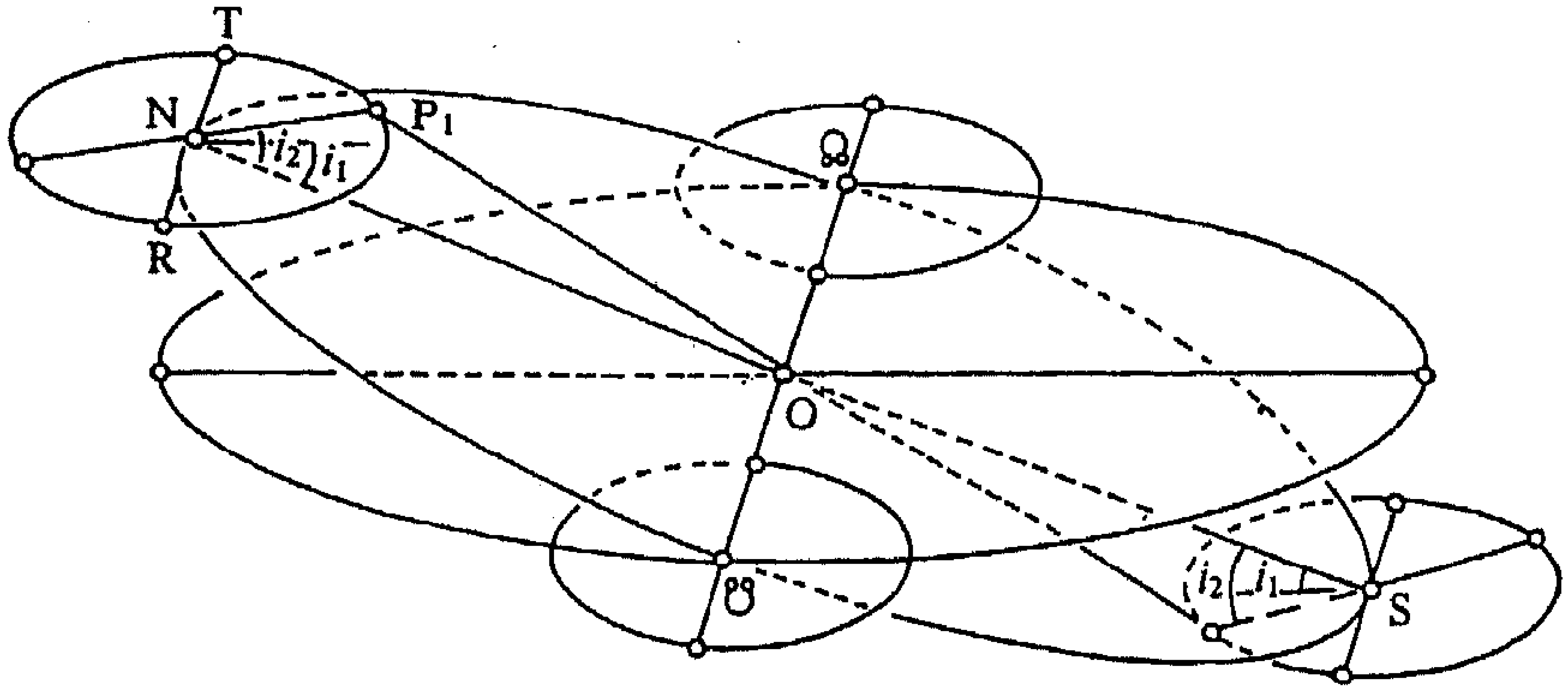
والخلاصة هي أن هيئة القمر، بشكلها الكامل، تتضمن الأفلاك التالية: (١) الفلك «الممثل» الذي يحرك العقدتين وكل باقي الأفلاك على خلاف التوالي، (٢) الفلك «المائل» الذي يتحرك بنفس الاتجاه، والذي بسببه يحدث للقمر عرض، وتنطبق منطقته على سطح منطقة الفلك الحامل، (٣) الفلك «الحامل» الذي يتحرك بحركته الخاصة باتجاه التوالي، وأخيراً (٤) فلك «التدوير» الذي يحمل القمر ذاته وهو بدوره محمولٌ على الفلك الحامل.

لقد أشرنا أعلاه إلى الاعتراضات التي سيقت ضد هذه الهيئة من حيث قدرتها على تحليل حركة القمر في الطول. لكن هذه الاعتراضات لا تمس هذه الهيئة من ناحية الحركة في العرض، لأن جميع الأفلاك المفروضة لهذه الهيئة بالذات، والتي توجب حركة العرض، تدور حول مراكزها الخاصة بها، التي تنطبق، في هذه الحالة، مع مركز العالم.

٢ ـ حركة عرض الكواكب العليا

إن الوضع يصبح أكثر تعقيداً بالنسبة الى الكواكب العليا، لأن سطوح مدارات هذه الكواكب، كما هو معروف حالياً، لا تمر بالأرض، التي كانت تعتبر مركز العالم، بل بالشمس. فإن تحديد حركة العرض، بالنسبة الى راصد على الأرض يستخدم الإحداثيات ذات المركز الأرضي، يتطلب إجراءات أكثر تعقيداً من الإجراءات التي استخدمت أعلاه لوصف حركة القمر في العرض.

وكما هي الحال بالنسبة الى هيئة أفلاك القمر، فإن أفلاك الحوامل للكواكب العليا (الشكل رقم (٣ ـ ٥)) هي الأخرى مائلة بالنسبة الى منطقة البروج ميلاً ثابتاً قدره i_1. ويسمى خط التقاطع بين سطح منطقة الفلك الحامل وسطح منطقة البروج، هنا أيضاً، بخط العقدتين. وتسمى نقطة هذا الخط التي يمر فيها فلك التدوير وهو صاعدٌ من الجنوب إلى الشمال «نقطة الطلوع» أو «الرأس»، وتسمى النقطة المقاطرة لها على فلك البروج «نقطة الغروب» أو «الذنب». والخط الخارج من مركز الراصد عمودياً على خط العقدتين، يحدد الجهة العليا للفلك الحامل عندما يتقاطع مع محيط الفلك الحامل في جهة الشمال على النقطة N، ويحدد الجهة السفلى للفلك الحامل عندما يتقاطع مع محيط الفلك الحامل في جهة الجنوب على نقطة S. ويختلف هذا الخط بشكل عام عن الخط المار بالأوج والحضيض لأنه يمر فقط بمركز فلك البروج O، ولا يمر بمركز فلك الحامل ولا بنقطة معدل المسير كما يفعل الخط المار بالأوج وبالحضيض.



الشكل رقم (٣ ــ ٥)

ولكن سطوح مناطق أفلاك تداوير الكواكب العليا، بخلاف هيئة القمر، لا تقع في سطح منطقة الفلك الحامل، كما كان مفروضاً عند اعتبار حركة الطول الذاتية، بل إن هذه السطوح تميل بالنسبة الى سطح منطقة البروج، عندما يبتعد فلك التدوير عن العقدتين، بميل قدره i_2. ويسمى هذا الميل أيضاً «الانحراف»، ويبلغ أقصى حده الشمالي عندما يصل مركز فلك التدوير إلى قمة الفلك الحامل. وكذلك يبلغ حداً أقصى جنوبياً، هو أعظم إطلاقاً من الحد الأقصى الشمالي، عندما يصل مركز فلك التدوير إلى قعر الفلك الحامل. وسبب ذلك هو أن قسم سطح منطقة الفلك الحامل الذي يقع شمال سطح منطقة البروج أكبر من القسم الجنوبي. وهذا يعني أن القسم الجنوبي يكون أقرب إلى الراصد، وبالتالي فهو يحدث زاوية أكبر من الأولى.

ولكن عندما يكون مركز فلك التدوير على خط العقدتين، يفترض في سطح منطقة التدوير أن يعود وينطبق على سطح منطقة البروج. عندها تنعدم زاويتا العرض، أي تصبح زاويتا ميل الفلك الحامل وانحراف فلك التدوير مساويتين للصفر.

حاصل ذلك أنّا نرى سطح منطقة فلك التدوير يتأرجح حول محور هو RNT، عمودي على الخط الواصل بين أوج فلك التدوير وحضيضه الحقيقيين، كما يكون دائماً موازياً لسطح منطقة البروج بالتقريب. وهذه النتيجة، بحد ذاتها، غير مقبولة لأنها تتضمن حركة تأرجحية في جزء من الفلك حيث كان لا يسمح إلا بوجود حركات دائرية متكاملة. وقد اقترح بطلميوس لتعليل هذه الحركة، في الفصل الثاني من المقالة الثالثة عشرة من **المجسطي**، إضافة دائرتين صغيرتين إلى طرفي القطر المتأرجح P_1 لفلك التدوير، بحيث يكون نصف قطر كل من الدائرتين الصغيرتين مساوياً لقوس الانحراف الأقصى، ويكون سطح هاتين الدائرتين عمودياً على سطح منطقة الحامل الذي يقاس الانحراف منه. وبإضافة هاتين الدائرتين يمكن أن يقال إن الخط الواصل بين أوج فلك التدوير وحضيضه

الحقيقيين لا يتحرك بحركة تأرجحية، بل يتحرك طرفاه على محيط هاتين الدائرتين الصغيرتين. غير أن الوقت الذي تستغرقه حركة التدوير على القسم الشمالي الأكبر للفلك الحامل، أطول عامة من الوقت الذي تستغرقه هذه الحركة على القسم الجنوبي من نفس الفلك الحامل. ولما كانت مدة حركة طرف القطر على إحدى الدائرتين الصغيرتين مساوية للمدة التي يتحرك بها فلك التدوير على الفلك الحامل، نتج عن ذلك أن حركة طرف قطر التدوير على الدائرة الصغيرة ليست حركة مستوية دورية، ووجب أن يكون لها معدل مسير خاص بها، كما كان هناك معدل مسير يدور مركز التدوير حوله بحركة مستوية دورية.

لا بد وأن تكون تلك النتيجة قد أوقعت بطلميوس في إحراج عظيم، لأنه يستميح القارىء عذراً ويطلب منه ألا يعتبر ذلك الحل في غاية التعقيد إذ يقول: «ولا يظنّن أحد أن هذه الأصول وما أشبهها عسير وقوعها بأن يجعل نظره فيما قلنا كنظره إلى ما يكون من الأشياء التي تتخذ بالحيلة ولطف الصنعة وصعوبتها وعسر وقوعها. وذلك أنه ليس ينبغي أن يقاس على الأمور الإلهية بالأمور الإنسية ولا أن يقصد إلى تصحيح ما هذا مبلغ جلال خطره بتناول المثالات له من الأمور التي هي في غاية البعد عن الشبه به»(٦). ثم يتابع قوله فيؤكد أنه تقبل ذلك الحل فقط لأنه يمثل الحركة السماوية بشكل أسهل.

وهذه النقطة بالذات هي موضوع الإشكال السابع المذكور أعلاه، والتي ظن فيها أنها تنافي الأصول التي كان يعمل بها في علم الفلك. وسنرى فيما بعد أن اكتشاف ما سمي لاحقاً بـ«مزدوجة الطوسي» يمكن من حل هذا الإشكال. ويمكن القول، بشكل أدق، إن «المزدوجة» قد ابتكرت من قبل الطوسي خصيصاً لحل هذا التناقض بالذات، وإنها طبقت لاحقاً للحصول على حركة مستقيمة كنتيجة لحركتين دائريتين. زد على ذلك أن «المزدوجة»، المركبة من حركتين دائريتين، تسمح بتأرجح طرف قطر التدوير في سطح واحد، بدون أن تخل بأصول الحركة الدائرية، وتسمح بالتالي بعدم اضطراب الحركة الطولية.

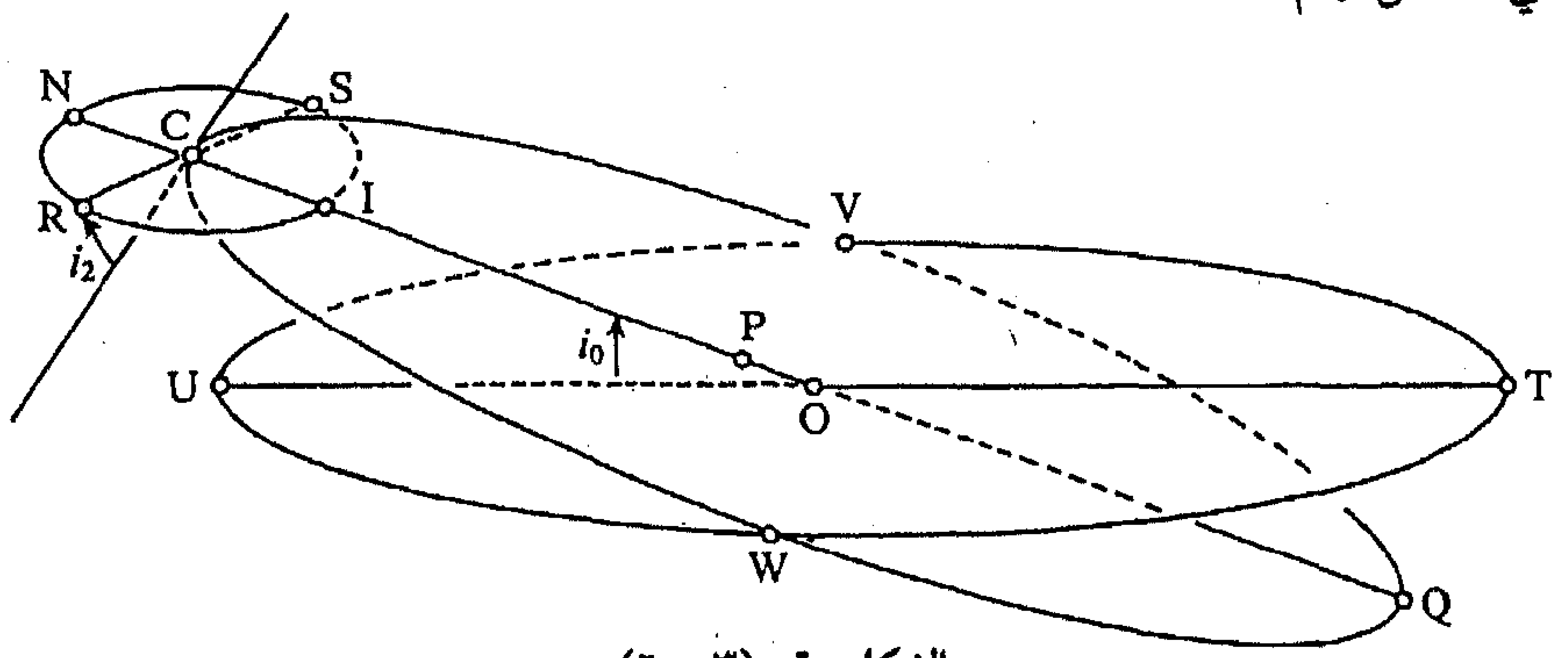
٣ ـ حركة الكواكب السفلية في العرض

إن هيئة بطلميوس لحركة الكواكب السفلية أكثر تعقيداً من الهيئات السابقة. وتفترض، في حالة كوكب الزهرة مثلاً، أن ميل الفلك الحامل والتدوير لا يكون ثابتاً، بل يتأرجح كأفلاك تداوير الكواكب العليا حول محور يمر بمركز فلك البروج. وأخيراً أن سطح منطقة فلك التدوير يتأرجح أيضاً حول محور عمودي على المحور الأول، وهكذا يتحرك بحركتين تأرجحيتين خاصتين به. وجميع هذه الحركات تحدث هي الأخرى في حالة عطارد، ولكن بعكس اتجاهاتها في حالة الزهرة.

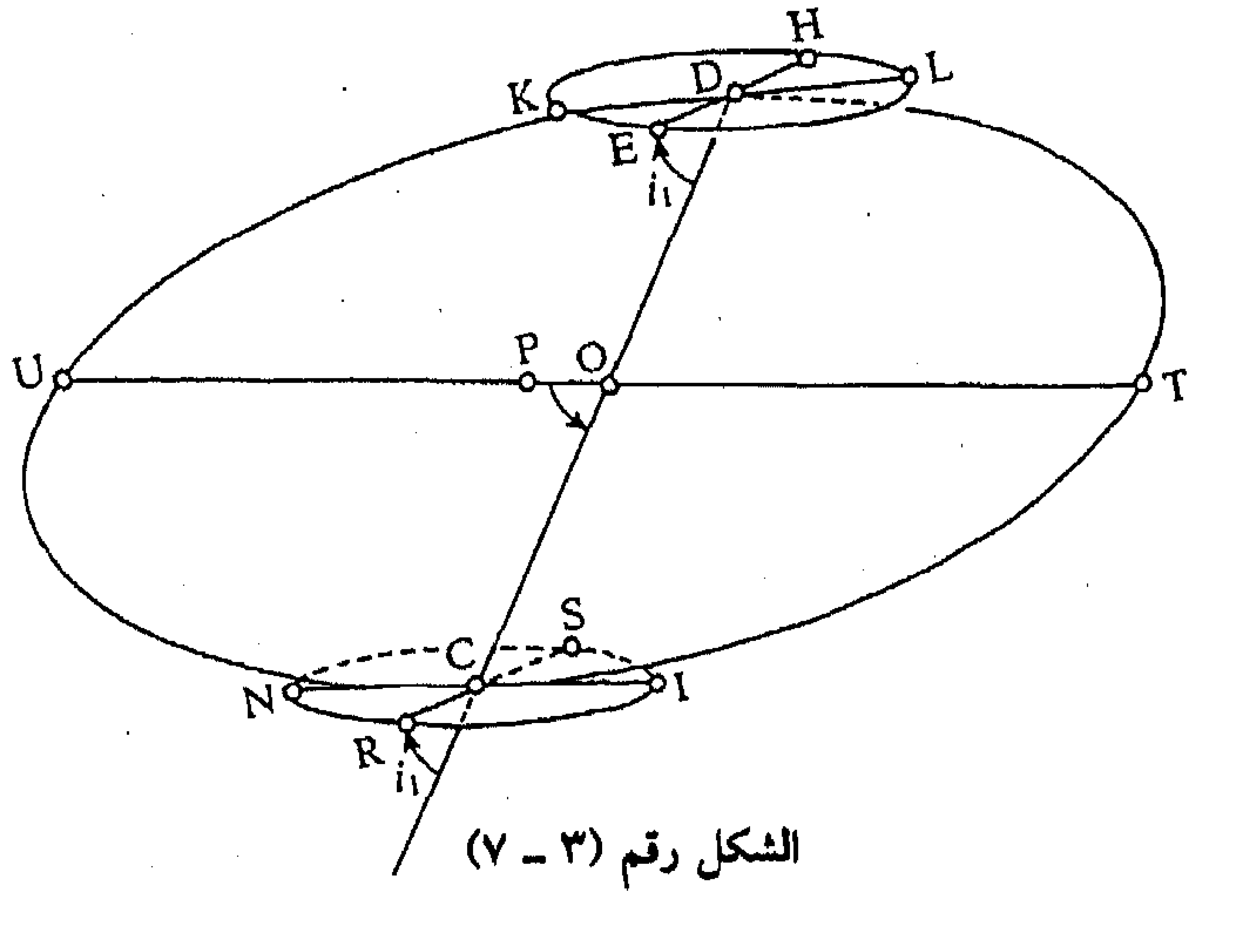
---

(٦) بطلميوس، **المجسطي** (مخطوطة، نسخة اسحق ـ ثابت، المتحف البريطاني، إضافي ٧٤٧٥)، المقالة ١٣، الفصل ٢، الورقة ٢٠٣ر.

ولكي نعطي مثالاً على هيئة كوكب الزهرة، فإنا نأخذ الشكل رقم (٣ ـ ٦) الفلك الحامل الخارج المركز مائلاً عن سطح منطقة البروج بزاوية قدرها i_0، ونجعل سطح الفلك الحامل يقطع سطح منطقة فلك البروج على خط العقدتين المار بمقام الراصد على مركز البروج. وفي هذه الهيئة، وخلافاً لحال الكواكب العليا، يقطع خط العقدتين الخط المار بالأوج والحضيض على زاوية قائمة. ولكن ميل الحامل لم يعد ثابتاً، كما كانت الحال في هيئة الكواكب العليا وفي هيئة أفلاك القمر. ففي هذه الهيئة يقترن ميل الفلك الحامل i_0 بحركة فلك التدوير، بحيث ينطبق سطح منطقة الحامل على سطح منطقة البروج عندما يكون فلك التدوير على رأس الجوزهر. وعندما يبدأ فلك التدوير بالحركة نحو الشمال، يبدأ ميل الفلك الحامل بالازدياد هو أيضاً باتجاه الشمال، إلى أن يصل إلى غايته i_0 عندما يصل فلك التدوير إلى أوج الحامل. بعد ذلك يبدأ الميل بالتناقص أثناء انتقال فلك التدوير من أوج الحامل إلى عقدة الذنب، إلى أن يعود إلى الانطباق على سطح منطقة البروج كما في الشكل رقم (٣ ـ ٧).

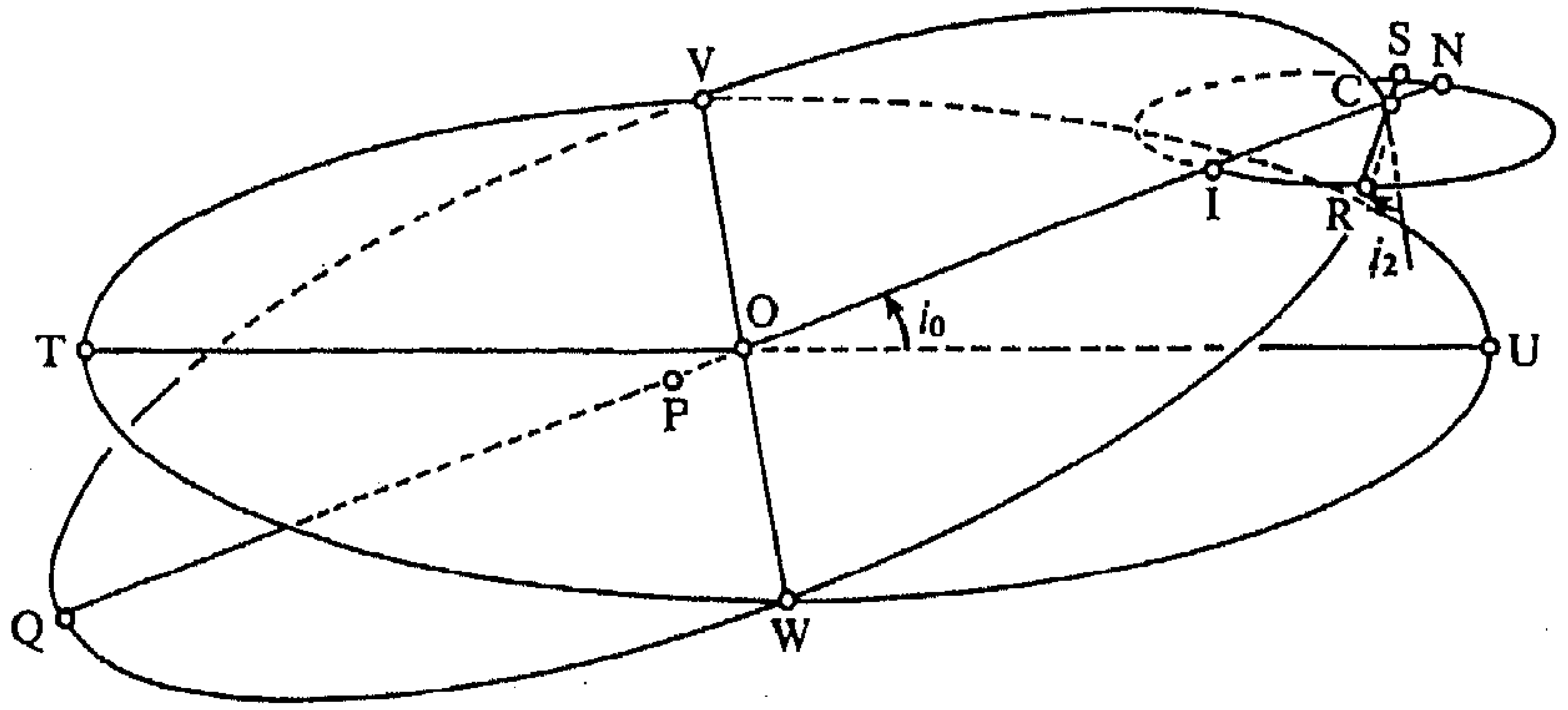


الشكل رقم (٣ ـ ٦)



الشكل رقم (٣ ـ ٧)

ولكن عندما يتحرك فلك التدوير من عقدة الذنب باتجاه حضيض الحامل، يبدأ ميل الحامل بالازدياد ثانية باتجاه الشمال كما نرى في الشكل رقم (٣ ـ ٨)، حتى يبلغ مرة أخرى غايته القصوى i_0 عندما يصل فلك التدوير إلى الحضيض. وفي عودة فلك التدوير إلى عقدة الرأس، يعود سطح منطقة الحامل إلى وضعه الأصلي على منطقة البروج كما نرى في الشكل رقم (٣ ـ ٧). هذه هي الحركة التأرجحية الأولى في هيئة كوكب الزهرة.



الشكل رقم (٣ ـ ٨)

أما حركة التأرجح الثانية فتسمى بحركة «الالتواء». ولشرح هذه الحركة يفترض بطلميوس أن سطح منطقة الحامل يكون منطبقاً على سطح منطقة البروج، عندما يكون فلك التدوير على رأس الجوزهر، كما نرى في الشكل رقم (٣ ـ ٧). فالخط COD هو المحور الأول الذي تتم حوله حركة الالتواء. وهو خط التقاطع بين سطح منطقة البروج والسطح العمودي الناتج من الخط الذي يصل بين أوج التدوير R أو H، وحضيضه S أو E، المرئيين وبين مركز فلك البروج. أما المحور الثاني الذي تتم حوله حركة الانحراف فهو الخط KDL أو NCI (وهو القطر الأوسط) العمودي على المحور الأول، والذي يمر بمركز فلك التدوير D أو C.

عندما يكون فلك التدوير على رأس الجوزهر، ينطبق قطر التدوير الأوسط KDL، على سطح منطقة البروج، وعندها ينعدم العرض الناتج عن حركة الالتواء. ولكن سطح فلك التدوير يتعرض لحركة الانحراف في ذلك الوضع بحيث يبلغ الانحراف زاويته القصوى i_1 في ذلك الوضع بالذات. وعندما يبدأ فلك التدوير بالحركة نحو الأوج، يتحرك سطح منطقة الحامل نحو الشمال كما هو بيّن في الشكل رقم (٣ ـ ٦)، ويبدأ انحراف سطح فلك التدوير بالتناقص من غايته القصوى i_1 إلى أن يبلغ الصفر عندما يصل

فلك التدوير إلى الأوج. ويتزايد بالمقابل الالتواء الذي كان منعدماً عند العقدة إلى أن يصل إلى غاية الالتواء القصوى i_2 عندما يكون فلك التدوير في الأوج.

عندما يصل فلك التدوير إلى الأوج، يبلغ ميل سطح منطقة الحامل غايته التي هي i_0، ويلتوي سطح فلك التدوير بحيث تكون جهته الشرقية نحو الشمال في غاية الالتواء التي هي i_2، وينعدم عندئذٍ انحراف الخط الواصل بين مركز فلك البروج وأوج التدوير وحضيضه المرئيين وينطبق ذلك الخط على سطح منطقة الحامل.

وعندما يتحرك فلك التدوير نحو ذنب الجوزهر، كما في الشكل رقم (٣ ـ ٧)، يعود سطح منطقة الحامل لينطبق على سطح منطقة البروج، بينما يبلغ سطح منطقة التدوير غاية انحرافه i_1، ويكون أوج التدوير نحو الشمال، وينعدم الالتواء في ذلك الوضع للتدوير.

ولكن عندما يتحرك فلك التدوير نحو حضيض الحامل، كما في الشكل رقم (٣ ـ ٨)، يتزايد ميل الحامل ليصبح ميل حضيضه في غايته الشمالية، ألا وهي i_0. أما سطح فلك التدوير فيلتوي في ذلك الموضع ليبلغ التواء جهته الشرقية غايته القصوى نحو الشمال، ألا وهي i_2، تماماً كما كانت الحال عندما كان فلك التدوير في أوج الحامل. وهنا أيضاً ينعدم انحراف فلك التدوير.

أما في حالة عطارد، فإن ميل الحامل والتواء فلك التدوير وانحرافه تتم جميعها باتجاهات معاكسة لتلك التي تتم في حالة الزهرة. عندما يكون التدوير في إحدى العقدتين، يكون انحراف عطارد شمالياً حيث يكون انحراف الزهرة جنوبياً، والعكس صحيح. أما في الأوج، فإن ميل حامل عطارد يكون في غايته الجنوبية، عندما يبلغ ميل حامل الزهرة غايته الشمالية. وكذلك يكون التواء عطارد جنوبياً في الأوج حيث يكون شمالياً للزهرة.

وإذا كانت ظاهرة الانحراف في حالة الكواكب العليا قد أحرجت بطلميوس وأجبرته على أن يستخدم دوائر صغيرة ليفسر انحراف تداوير الكواكب العليا، فإن ظاهرات الميل والانحراف والالتواء في حالة الكواكب السفلى قد شكلت إحراجاً مثلثاً له، إذ إن كل واحدة منها تتطلب دوائر صغيرة خاصة تسمح بتأرجح أقطار التداوير المتعددة. فلا عجب إذن أن يظن بتلك الهيئات أنها مناقضة لأصول علم الفلك الأولية. وهنا أيضاً يمكن استخدام «مزدوجة الطوسي» بشكل فعال ليسمح لجميع أطراف تلك المحاور المتعددة أن تتحرك بحركات مستقيمة ناتجة عن حركات دائرية.

هذه هي باختصار نظرية بطلميوس لحركات الكواكب في العرض. وكما رأينا، فإنه كان من السهل أن يؤخذ عليها مآخذ عديدة، هذا بالرغم من أنها كانت مستندة إلى الأرصاد وقادرة على التنبؤ بموضع كوكب معين في أي وقت معين. والمشكل الرئيسي

الذي كان يعم جميع هذه الهيئات، وعلى جميع المستويات، هو الذي أشرنا إليه سابقاً باسم الإشكال السابع، والذي يلخص بقبول حركات تأرجحية ضمن الحركات السماوية التي كان يجب أن تكون كلها دائرية. وإذا أمكن إبدال هذه الحركات التأرجحية بحركات دورية، بفضل «مزدوجة الطوسي»، يبقى هناك المشكل المصغر الذي يتطلب أن تعدل الحركات الدورية بحيث تتحرك دائرتا «المزدوجة» بسرعة مستوية، وهذا ليس سهلاً.

رابعاً: إصلاح هيئات بطلميوس للكواكب

لقد رأينا أعلاه أن الانتقادات الهامة الأولى التي وجهت إلى هيئة بطلميوس بدأت تظهر، حسب ما نعلم، خلال القرن الحادي عشر. وقد تطورت الأبحاث، خلال ذلك القرن، باتجاهين رئيسيين في آن واحد، وهما: الاتجاه الذي اقتصر على الكشف عن شوائب هيئة بطلميوس، والاتجاه الذي تعدى ذلك إلى استنباط هيئة بديلة لا تعتريها الشوائب التي ألمّت بهيئة بطلميوس.

لقد تمثل الاتجاه الأول الذي كان مكرساً لانتقاد هيئة بطلميوس بابن الهيثم (المتوفى بعد سنة ١٠٤٠م) في كتابه **الشكوك على بطليموس**[٧]، وبالفلكي الآخر المجهول الهوية في كتابه **الاستدراك [على بطلميوس]**[٨] الذي لم يعثر عليه حتى الآن. ونحن نعرف، استناداً إلى كتاب ابن الهيثم، أن عملية النقد لم تكن محصورة بهيئة بطلميوس للكواكب فقط، بل تعدتها لتشمل أعمال بطلميوس الأخرى كالتي تتعلق بعلم المناظر. وهذا يعني أن البواعث الرئيسية التي دفعت إلى تأليف هذا الكتاب كانت أعم بكثير من البواعث الفلكية. ويمكن القول إن هذا النوع من المؤلفات يتبع نفس المنهج الذي اتبعه الطبيب أبو بكر الرازي (المتوفى سنة ٩٢٥م) الذي ألف كتاباً مشابهاً لكتاب ابن الهيثم ينتقد فيه جالينوس (القرن الثاني الميلادي)، وسماه **الشكوك على جالينوس**. سوف نعرض في الفقرات التالية مختصراً للأعمال الفلكية التي وردت في كتاب ابن الهيثم. أما كتاب المؤلف المجهول الهوية، فكان، على ما يبدو، مكرساً للمسائل الفلكية، إذ كلما كان يصل إلى إحدى النقاط الصعبة التي أشرنا إليها أعلاه في هيئة بطلميوس كان يقول: هذا ما يصعب القبول به، وقد فصلنا ذلك في كتاب **الاستدراك**.

---

(٧) انظر: أبو علي محمد بن الحسن بن الهيثم، **الشكوك على بطليموس**، تحقيق عبد الحميد صبره ونبيل الشهابي؛ تصدير إبراهيم مدكور (القاهرة: مطبعة دار الكتب، ١٩٧١).

(٨) نحن نعرف هذا المؤلف المجهول الهوية من خلال كتابه المسمى بسباطة **كتاب الهيئة**، الذي يبدو أنه محفوظ في نسخة وحيدة في مكتبة الجامعة العثمانية (الدكن، الهند)، وسوف نقدم تلخيصاً لمحتوياته في ما بعد.

١ ـ محتوى كتاب «الشكوك» لابن الهيثم[٩]

يبدأ الكتاب بمقدمة يعرض فيها ابن الهيثم المبادىء التي ينوي اتباعها في عمله. وبعد أن يقر بالامتياز الذي تمتعت به أعمال بطلميوس يتابع قائلاً إنه لن يشير في كتابه إلا إلى المسائل (الشكوك) التي لا يمكن تفسيرها بشكل مرضٍ، والتي يرد فيها تناقض مع الأصول الأولية المسلم بها.

أ ـ القطر المرئي للشمس

ينقسم الكتاب إلى ثلاثة أقسام رئيسية، كل واحد منها مكرس للقضايا المتناقضة في أحد مؤلفات بطلميوس الثلاثة: **المجسطي، كتاب الاقتصاص والمناظر**. يبدأ القسم الأول، تبعاً للترتيب الوارد في **المجسطي** بمسألة الفصل الثالث من المقالة الأولى، وهي مسألة القطر المرئي للشمس. وذلك أن قطر الشمس المرئي عندما تكون الشمس قرب الأفق، يبدو أعظم من قطرها المرئي عندما تكون في وسط السماء. وهنا يستخدم ابن الهيثم النتائج التي توصل إليها بطلميوس ذاته في كتاب **المناظر** ليخالف بها ما قاله بطلميوس في **المجسطي**.

ب ـ تحديد الجهات بالنسبة إلى مركز العالم

ويطالب ابن الهيثم بطلميوس، فيما يتعلق بالفصل الخامس من المقالة الأولى من **المجسطي**، بمزيد من الدقة عندما يتحدث عن المفاهيم التي كان هو نفسه قد قررها. ويعترض على وصف بطلميوس لوضع الأرض بأنه «أعلى» أو «أسفل» من مركز العالم، إذ إن جميع تلك الجهات لا تعني شيئاً بالنسبة إلى مركز العالم لأنها كلها في جهة الـ «أعلى». ولا يعتبر ابن الهيثم هذا النوع من «الغلط» تناقضاً، بل خطأ في «التصور». وكذلك عندما يستخدم بطلميوس تعبير «الشرق» أو «الغرب» ليصف وضع الأرض، فإنه يرتكب خطأ في التصور.

ج ـ قيمة قوس الدرجة الواحدة

ويعترض ابن الهيثم بعد ذلك، على استخدام بطلميوس لمقدار أكبر وأصغر من مقدار آخر في آن واحد ليقيم البرهان على أنه مساو للمقدار عينه. كان من الممكن أن يسمح ابن

---

(٩) سوف أستخدم نشرة القاهرة لهذا الكتاب. توجد ترجمة تمهيدية لهذا النص باللغة الإنكليزية، قام بها دان ڤوس (Dan Voss) على شكل أطروحة في جامعة شيكاغو تحت إشراف نويل سْوِردلو (Noël Swerdlow) (غير منشورة).

الهيثم لبطلميوس أن يقول، في هذا الموضع بالذات، إن مقدار قوس الدرجة الواحدة مساو لذلك المقدار بالتقريب، أي أنه يختلف عنه بقيمة صغيرة، بدلاً من أن يقول إنه أصغر وأكبر منه في آن واحد.

د ـ ميل فلك البروج

يعترض ابن الهيثم على الطريقة التي استخدمها بطلميوس لتحديد ميل فلك البروج، إذ يقول بطلميوس إنه رصد الشمس عند عبورها دائرة نصف النهار، فوجد أن الفرق بين ارتفاع الشمس الأقصى عندما تكون في المنقلب الصيفي وارتفاعها الأدنى عند المنقلب الشتوي مساو لـ 47° وأكثر من ثلثي درجة وأقل من نصف وربع درجة.

والسبب الذي من أجله اعترض ابن الهيثم على ذلك هو أن الشمس قد لا تكون على نقطة الانقلاب عند مرورها بدائرة نصف النهار لمكان الرصد المقصود، وأن بطلميوس يعرف ذلك جيداً. ولكنه قبل أن يأخذ قيمة تقريبية، حين كان عليه أن يبين كيفية تحديد هذا المقدار بشكل دقيق. زد على ذلك أن بطلميوس كان يعلم أيضاً أن الشمس لن تعود إلى نفس النقطة على دائرة نصف النهار في عدد صحيح من الأيام خلال السنوات المقبلة. وبالرغم من ذلك قال إنه رصد الشمس وهي تمر بنقطة الانقلاب تلك سنة بعد سنة، وهذا لا يمكن أن يكون صحيحاً. وبما أن هناك مقادير عديدة يعتمد في تحديدها على رصد بطلميوس هذا، يستخلص ابن الهيثم أنه لا يمكن الأخذ بأقوال بطلميوس فيما يخص مقدار طول السنة الشمسية أو نقطة الانقلاب أو ميل فلك البروج أو نقطة الاعتدال.

والبرهان على أن بطلميوس لم يحدد هذه المقادير حقاً هو ما وجده الفلكيون المحدثون من الاختلاف في أقدارها. فإنهم قد وجدوا الميل مختلفاً عما وجده بطلميوس، ووجدوا أوج الشمس متحركاً في حين أن بطلميوس كان قد وجده ثابتاً.

هـ ـ نقطة المحاذاة

هذا الاعتراض هو نفسه الذي أشار إليه الأخوين بالإشكال السادس. ويحصل هذا الإشكال في هيئة بطلميوس للقمر حيث يصار إلى تحديد أوج التدوير الأوسط ابتداءً من امتداد الخط المار بمركز فلك التدوير ونقطة المحاذاة التي تكون دائماً مقاطرة لمركز الفلك الحامل في الجهة المقابلة من مركز العالم. فهذا الأوج، بالنسبة الى ابن الهيثم، لا يكون نقطة خيالية فقط، بل لا يمكن أن يكون نقطة تتخذ مبدأ لقياس الحركة. لكن ما يقلق ابن الهيثم حقاً هو ما يشير إليه في السطور التالية:

«وقطر فلك التدوير هو خط متخيل، والخط المتخيل ليس يتحرك بذاته حركة محسوسة تحدث معنى موجوداً في العالم. وكذلك سطح فلك التدوير هو سطح متخيل، والسطح

المتخيل ليس يتحرك حركة محسوسة. وليس يتحرك حركة محسوسة تحدث معنى موجوداً في العالم إلا الجسم الموجود في العالم»(١٠).

بالإضافة إلى ذلك، وحتى لو قبلنا بوجود مثل هذا الخط الخيالي، وبالتالي بوجود الأوج الأوسط الذي يحدده، فإننا لا نستطيع تعليل حركة هذا الخط حسب أصول الحركة المسلم بها. وذلك لأنه يتحرك، كما يبدو، بحركة تأرجحية تحدث زوايا سلبية وإيجابية، في غضون نصف شهر قمري، دون أن يتم هذا الخط دورته. ولا تبدو أية حركة من هذه الحركات كأنها ناتجة عن دورات كاملة لأفلاك تتحرك حركات دورية مستوية كما هو مفروض.

وينهي ابن الهيثم هذا الفصل بوابل من الانتقادات، مستنفداً كل الأعذار التي يمكن أن يعذر بها بطلميوس، ورافضاً في النهاية وجود خطوط أو أجسام تستطيع تحريك هذه الخطوط على ذلك المنوال. «وإذا كان فرض جسم بهذه الصفة محالاً، فمحال أن يتحرك قطر فلك التدوير إلى محاذاة النقطة المفروضة»(١١).

إن المحاولات اللاحقة التي قام بها علماء الفلك الآخرون لتعديل هيئة بطلميوس للقمر تشمل، بشكل أو بآخر، موقفاً معيناً من نقطة المحاذاة هذه بالذات، وكانت تتحاشى غالباً استخدامها.

و ـ حدود الكسوفات

يعترض ابن الهيثم في هذا القسم على أن بطلميوس كان قد استخدم، على ما يبدو، طريقة تقريبية لتعيين حدود الكسوفات. والاعتراض الأساسي يدور حول استخدام بطلميوس لقوس ـ مقداره مساو لمجموع نصف قطري الشمس والقمر ـ قائمة على سطح مدار القمر وليس على منطقة فلك البروج كما كان يفضل ابن الهيثم. وهكذا يخلص ابن الهيثم إلى القول إن هذه الطريقة التي اختارها بطلميوس لا تسمح له بحساب بدء الكسوف ولا توسطه ولا نهايته، «ففرضه هذين القوسين حدين في الطول والعرض للكسوف هو غلط ظاهر لا شبهة فيه»(١٢).

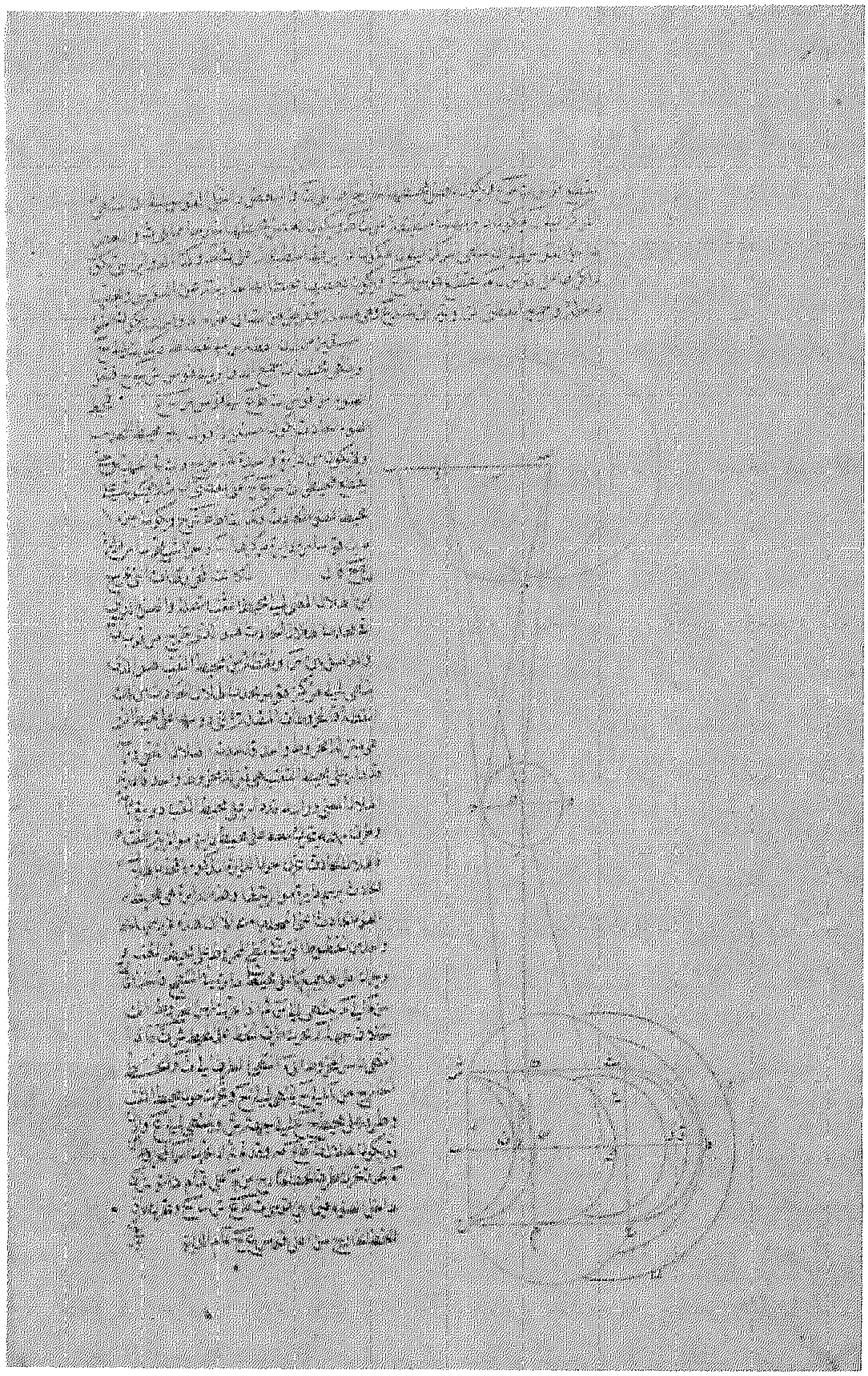
---

(١٠) ابن الهيثم، المصدر نفسه، ص ١٦.

(١١) المصدر نفسه، ص ١٩.

(١٢) المصدر نفسه، ص ٢٣. انظر: Pedersen, *A Survey of the Almagest*, pp. 277 ff,

وما يلي حول موضوع سوء التعبير في تحليل بطلميوس لحدود الكسوفات الوارد في الفصل الخامس من المقالة السادسة من المجسطي.



الصورة رقم (٣ ـ ٢)

كمال الدين الفارسي (ت حوالى سنة ٧٢٠/ ١٣٢٠)، **تنقيح المناظر لذوي الأبصار والبصائر** (طهران، مخطوطة سبهسلار، ٥٥١).

يلخص الفارسي في هذا الكتاب بصورة تفصيلية كتاب **المناظر** لابن الهيثم ومقالات أخرى له. ومن بين الموضوعات المتعددة التي درسها ابن الهيثم في علم المناظر صورة الكسوف التي خصص لها مقالاً منفصلاً.

ز ـ مسألة معدل المسير

هذا القسم هو، بدون أي شك، القسم الذي يورد فيه ابن الهيثم أهم انتقاداته على الإطلاق للهيئة البطلمية. فهو يدور حول الإشكال الوارد أعلاه تحت اسم الإشكال الرابع، والذي يفيد بكل بساطة أنه ليس يمكن لفلك أن يدور بحركة مستوية حول محور لا يمر بمركزه، كما كان بطلميوس يفترض. ولكي يحكم تأليف انتقاده، يبين ابن الهيثم في البداية أن بطلميوس كان في قضية معدل المسير على تمام المعرفة بأنه كان يخرق المبادىء الأساسية التي كان هو نفسه قد سلم بها.

وهكذا يبدأ ابن الهيثم بالرجوع إلى الفصل الثاني من المقالة التاسعة من **المجسطي**، حيث قرر بطلميوس بشكل واضح أن الكواكب العليا تتحرك حركة دورية مستوية[١٣]، تماماً كما تتحرك الكواكب المذكورة سابقاً. ثم يقابل هذا النص بما ورد في الفصل الخامس من المقالة التاسعة من **المجسطي** حيث يقول بطلميوس بكل وضوح إن في هيئة الكواكب العليا «وجدنا أيضاً مراكز أفلاك التداوير إنما تتحرك على دوائر مساوية للأفلاك الخارجة المراكز التي تكون بها الاختلافات، إلا أن هذه الدوائر ليست على مراكز واحدة بأعيانها»[١٤]. ويعود بطلميوس لاحقاً، في الفصل السادس من المقالة التاسعة من **المجسطي**، ليسهب في وصف هيئة الكواكب العليا. وهناك، في ذلك الفصل، يحدد بطلميوس «معدل المسير» (حسب الاستخدام الشائع أثناء القرون الوسطى اللاحقة) بأنه نقطة يدور فلك التدوير حولها في حركة مستوية (Uniforme). ويتابع بطلميوس، في نفس الفصل، وبدون أي برهان، قوله بأن مركز الحامل يقسم بنصفين المسافة الواقعة بين مركز فلك البروج ومعدل المسير.

ولقد رد ابن الهيثم على ذلك قائلاً: «فهذا الذي ذكرناه هو حقيقة ما قرره بطلميوس لحركات الكواكب الخمسة، وهو معنىً يلزم منه تناقض»[١٥]. بنى ابن الهيثم برهانه لهذا التناقض كما يلي: (١) قبل بطلميوس بمبدأ الحركة المستوية، (٢) بيّن بطلميوس، في حالة الشمس، أن أي جسم يتحرك بحركة مستوية حول نقطة معينة، يتحرك بالضرورة بحركة غير مستوية حول أية نقطة أخرى، (٣) ناقض بطلميوس نفسه عندما قال إن مركز فلك التدوير يتحرك بحركة مستوية حول مركز معدل المسير، لأن ذلك يعني أنه لا يتحرك بحركة مستوية حول مركز حامله، وهذا محال.

---

(١٣) النص الحرفي لعبارة بطلميوس هو التالي: «وإذ كان قصدنا أن نبين في الكواكب المتحيرة الخمسة كما بينا في الشمس والقمر الاختلافات كلها التي تُرى لها وإنما تكون عن حركات جارية على استواء واستدارة لأن هذه الحركات مشاكلة لطبيعة الأجرام الإلهية ومباينة للخروج عن النظام وعدم التشابه». انظر: بطلميوس، **المجسطي**، الورقة ٥٢ظ، و Ptolemaues, *L'Almageste*, tome 2, p. 116.

(١٤) بطلميوس، المصدر نفسه، الورقة ٧٦ظ. انظر أيضاً: Ptolemaues, Ibid., tome 2, p. 158.

(١٥) ابن الهيثم، **الشكوك على بطليموس**، ص ٢٦.

ولقد ذكر ابن الهيثم بوضوح تام، في تفاصيل رده على بطلميوس، أن اعتراضه يستند في الحقيقة على أن هذه الحركات يفترض فيها أن تكون ناتجة عن حركات أجسام حقيقية، وأنها ليست حركات أجسام متخيلة، «لأن المحيط المتخيل لا يتحرك منفرداً حركة محسوسة»[١٦]. وأشار ابن الهيثم، بالإضافة إلى ذلك، إلى ملاحظة بديهية وهي أن الجسم الذي يفترض فيه أن يتحرك بحركة مستوية حول نقطة معينة، يجب أن يبقى دائماً على مسافة ثابتة من تلك النقطة. وإذا افترضنا أن الأجسام التي يصفها بطلميوس هي أجسام طبيعية حقاً، فعندها لا يمكن أن يكون هناك فلك يتحرك بحركة مستوية حول محور لا يمر بمركزه.

ويستطرد ابن الهيثم في انتقاده ليطال هيئة عطارد، الواردة في الفصل التاسع من تاسعة **المجسطي**، لأن نفس التناقض كان يعتريها. وينهي ابن الهيثم هذا الفصل بإثارة الشكوك حول الطريقة التي استخدمها بطلميوس في تحقيق خروج مراكز الكواكب.

ويستشهد ابن الهيثم، ليحكم رده بشكل قاطع، بقول بطلميوس في الفصل الثاني من تاسعة **المجسطي**، الذي يثبت أن بطلميوس نفسه قد أقر بأنه استخدم هيئات خارجة عن القياس. ولما كان بطلميوس «قد اعترف أن فرضه الحركات على دوائر مجردة خارج عن القياس. فلذلك تكون الخطوط المجردة أحرى أن تكون حركتها حول نقطة مفروضة خارجاً عن القياس. وإذا كان حركة قطر فلك التدوير حول المركز الأبعد خارجاً عن القياس، وكان فرض جسم يحرك هذا القطر حول هذا المركز خارجاً عن القياس لأنه مناقض للأصول، فالترتيب الذي رتبه بطلميوس لحركات الكواكب الخمسة خارج عن القياس. وليس يمكن أن تكون حركة الكواكب التي هي دائمة ومتصلة وعلى ترتيب واحد لا تتغير ولا تنتقض خارجاً عن القياس. ولا يصح أن تكون حركة منتظمة دائمة على ترتيب واحد لا يتغير إلا على أصول صحيحة واجبة بالقياس المطرد الذي لا شبهة فيه. فقد تبين من جميع ما ذكرناه أن الهيئة التي قررها بطلميوس لحركات الكواكب الخمسة هي هيئة باطلة، وأن لحركات هذه الكواكب هيئة صحيحة بأجسام متحركة حركة مستوية دائمة متصلة لا يلزم منها محال، ولا يتداخلها شبهة هي غير الهيئة التي قررها بطلميوس»[١٧].

ح ـ حركة العرض

يبدأ ابن الهيثم اعتراضه على نظرية بطلميوس لحركة العرض بعد استشهاد طويل، من الفصل الأول من المقالة الثالثة عشرة من **المجسطي**، يدور حول حركة الكواكب السفلى في العرض. ويتبع ذلك بإعادة صياغة كلام بطلميوس، إلى أن يخلص إلى القول: «وهذا محال

(١٦) المصدر نفسه، ص ٢٨.

(١٧) المصدر نفسه، ص ٣٣ ـ ٣٤.

فاحش مناقض لقوله فيما تقدم إن حركات السماء مستوية ومتصلة ودائمة، لأن هذه الحركة ليس يمكن أن تكون إلا لجسم يتحرك هذه الحركة لأن الحركات المحسوسة ليس تكون إلا للأجسام الموجودة»[١٨].

بالإضافة إلى ذلك، وبما أن حركتي السطحين المائلين اللذين ينطبق عليهما الحامل يتحركان باتجاهين متقابلين، يستنتج ابن الهيثم أن بطلميوس كان قد ارتكب حقاً خطأ فادحاً بقبوله أن يكون لأي جسم ما طبيعتان مختلفتان، إذ ان هذا يدل على إمكانية اختلاف في تركيب الفلك، وهذا خارج عن القياس.

ط ـ خاتمة

يختتم ابن الهيثم انتقاده لكتاب **المجسطي** بعرض طويل يسترجع فيه الأسباب التي حدت ببطلميوس ليقول ما قاله. ويقر أن مثل هذه التناقضات قد يقع أحياناً في بعض المواضع نتيجة السهو الذي لا ينجو منه أي إنسان. ففي مثل هذه المواضع يكون عذر بطلميوس مقبولاً. ولكن عندما يقع بطلميوس في التناقض عمداً، لا يمكن أن نجد له عذراً. ويستشهد ابن الهيثم، لكي يثبت أن بطلميوس كان يتعمد قبول هذه التناقضات، بالمقطع المشهور من الفصل الثاني من تاسعة **المجسطي**، حيث يقول بطلميوس إنه اضطر الى استخدام وسائل «خارجة عن القياس»، وإنه أجرى البرهان مستخدماً دوائر متخيلة. ثم يشير ابن الهيثم إلى المشكلة الرئيسية في هيئة بطلميوس للكواكب العليا، التي تتمحور حول هذه النقطة بالذات، ألا وهي إجراء البرهان على حركات الكواكب بالرجوع إلى دوائر وخطوط متخيلة. ولكن عندما يُفترض وجود أجسام حقيقية فعلاً، عندها يبرز التناقض بشكل واضح جداً.

كذلك لا يقبل ابن الهيثم عذر معتذر لبطلميوس يقول إن تلك الهيئات جميعها متخيلة، وإنها لا تؤثر في الحركات الحقيقية للكواكب، لأنه، على رأي ابن الهيثم، لا يجوز أن تتوهم هيئات متناقضة لوصف حركات أجسام موجودة حقيقية. كذلك لا يمكن أن يعذر بطلميوس حين يقول، في الفصل الثاني من تاسعة **المجسطي**، إنه قد توصل إلى وصفٍ وافٍ لحركات الكواكب دون أن يتمكن من وصف الطريق التي توصل بها إلى ذلك، بل كان على بطلميوس أن يقر أولاً أن الهيئة التي توهمها لم تكن صحيحة، وأنه لم يكن قد توصل إلى الهيئة الصحيحة. ولو فعل ذلك لأمكن ابن الهيثم أن يعذره.

ويلي هذا الفصل ملخص لهيئة بطلميوس للكواكب كما ارتآها ابن الهيثم، وهو عرض أمين للهيئات التي ورد ذكرها في **المجسطي**[١٩]. ثم يخلص إلى القول بأن بطلميوس: «... جمع كل ما صح للمتقدمين وله من حركات كل واحد من الكواكب ثم

---

(١٨) المصدر نفسه، ص ٣٦.

(١٩) المصدر نفسه، ص ٣٩ ـ ٤١.

تطلب هيئة تصح أن توجد في أجسام موجودة تتحرك تلك الحركات، فلم يقدر على ذلك، ففرض هيئة متخيلة في دوائر وخطوط متخيلة تتحرك تلك الحركات، ويمكن في بعض تلك الحركات أن توجد في أجسام تتحرك تلك الحركات. فارتكب هذه الطريقة اضطراراً، لأنه لم يقدر على غيرها. وليس إذا فرض الإنسان خطأً في تخيله وحركه في تخيله تحرك في السماء خط نظير لذلك الخط مثل تلك الحركة. ولا إذا تخيل الإنسان دائرة في السماء وتخيل الكوكب متحركاً على تلك الدائرة تحرك الكوكب على تلك الدائرة المتخيلة. وإذا كان ذلك كذلك، فالهيئات التي فرضها بطلميوس للكواكب الخمسة هي هيئة باطلة، وقررها على علم منه بأنها باطلة، لأنه لم يقدر على غيرها. ولحركات الكواكب هيئة صحيحة في أجسام موجودة لم يقف عليها بطلميوس ولا وصل إليها. لأنه ليس يصح أن توجد حركة محسوسة دائمة حافظة لنظام وترتيب إلا ولها هيئة صحيحة في أجسام موجودة»[٢٠].

٢ ـ الشكوك على «كتاب الاقتصاص»

يبدأ ابن الهيثم عرضه للشكوك التي أوردها على **كتاب الاقتصاص** بتعداد النقاط التي يختلف فيها هذا الكتاب عن كتاب **المجسطي**. فهو يورد مثلاً عدد الحركات المنسوبة الى الكواكب في **المجسطي**، حيث بلغت ستاً وثلاثين، وعددها الوارد في **كتاب الاقتصاص** والبالغ ستاً وعشرين فقط.

يتعرض ابن الهيثم، بعد ذلك، إلى حركات أفلاك التداوير التي ذكرت في المقالة الأولى من **كتاب الاقتصاص**. وعندها يشير إلى نقص في هذا الكتاب لأن بطلميوس لم يأت فيه على ذكر «الدوائر الصغيرة» التي وردت في **المجسطي**، والتي كانت تحمل أفلاك التداوير في العرض. كذلك لم يجد فيه شرحاً وافياً لحركات الكواكب في العرض[٢١].

وهكذا يخلص إلى القول بأن كلام بطلميوس في المقالة الأولى من **كتاب الاقتصاص** ليس هو فقط عرض لـ «هيئة فاسدة»، بل هو مناقض لما جاء في الأرصاد ـ خاصة فيما يتعلق بحركة عرض الكواكب ـ ولما جاء في **كتاب المجسطي** نفسه.

ويقترح بطلميوس خلال تحليله لـ «علل» حركات الكواكب في المقالة الأولى من **كتاب الاقتصاص**، أن لكل كوكب من هذه الكواكب حركتين: حركة إرادية، وحركة قسرية «يضطر إليها»[٢٢]. كما يتابع في المقالة الثانية من **كتاب الاقتصاص** حيث يقول: «ولكل

---

(٢٠) المصدر نفسه، ص ٤١ ـ ٤٢.

(٢١) المصدر نفسه، ص ٤٣ ـ ٤٤.

(٢٢) انظر: Bernard Raphael Goldstein, «The Arabic Version of Ptolemy's *Planetary Hypotheses*,» reproduction of the entire arabic manuscript, which contains the second part of book I, and a partial english translation, *Transactions of the American Philosophical Society* (N.S.), vol. 57, part 4 (1967), p. 26, lines 16 - 18.

حركة من هذه الحركات المختلفة في الكمية أو في النوع جسم يتحرك على أقطاب. . . ويكون ذلك فيها بلا قهر ولا ضرورة تلزمها من الخارج»[٢٣].

أما ابن الهيثم فإنه يجد هاتين المقولتين متناقضتين، إذ كيف يمكن لجسم أن يُجبر على الحركة حيناً، بينما لا يكون خاضعاً لقسر خارجي في الحين الآخر؟

كذلك يهاجم ابن الهيثم بطلميوس لأنه أخذ بفكرة استخدام المنشورات الكروية عوضاً عن الأفلاك، فيقول بأن المنشورات، بدلاً من أن تحل المسائل التي هي موضوع النقاش، تنطوي على نفس المساوىء التي انطوت عليها الأفلاك، وتضيف إليها مساوىء أخرى خاصة بها[٢٤].

هذا يعود بابن الهيثم إلى نظرية حركات الكواكب السفلى في العرض، وإلى «الدوائر الصغيرة» التي افترض في **المجسطي** أنها تحرك أفلاك تداوير الكواكب السفلى على محورين متعامدين. هذه «الدوائر الصغيرة» لم يرد ذكرها في **كتاب الاقتصاص**. ويقول بشأنها ابن الهيثم: «فإن تأوّل متأوّل فيها مثل ما تأول في القطرين الأولين لزم في كل واحد منهما محالان آخران مثل اللذين لزما في القطرين الأولين. وإن لم يتأول فيهما ذلك فإما أن يكون بطلميوس غالطاً في أعمالهما، أو غالطاً في فرضهما في كتاب **المجسطي**»[٢٥].

وبشكل مشابه، لم يتعرض بطلميوس في **كتاب الاقتصاص** لمسألة تأرجح مناطق الأفلاك المائلة للكواكب السفلى كما فعل في **المجسطي**.

زد على ذلك أن بطلميوس، أثناء وصفه لأفلاك القمر، أهمل كلياً حركة نقطة المحاذاة التي كان قد ذكرها ضمن حركات القمر في **المجسطي**.

ويبدو بطلميوس في نهاية المقالة الثانية من **كتاب الاقتصاص** وكأنه قد قَبِل فكرة إمكانية تحرك الكواكب بذاتها دون أن تكون بحاجة إلى جسم آخر يحركها. عندها يرد ابن الهيثم على بطلميوس قائلاً إن ذلك يفترض وجود خلاء في السماء ليسمح للكوكب أن يفرغ مكاناً ليملأ مكاناً آخر. ثم يتبع ذلك برفضه لهذه الحركة لكونها حركة تدحرجية. ويخلص إلى القول: «وإذ قد جوّز بطلميوس أن يكون الكوكب متحركاً بذاته من غير جسم يحركه، فقد بطل بهذا التجويز جميع المنشورات وجميع الأكر التي فرضها للكواكب»[٢٦].

ويختم ابن الهيثم هذا الفصل من رده على **كتاب الاقتصاص** كما فعل في نهاية الفصل الذي رد فيه على **المجسطي** قائلاً عن بطلميوس:

---

(٢٣) ابن الهيثم، المصدر نفسه، ص ٤٥ ـ ٤٦.
(٢٤) المصدر نفسه، ص ٤٨ ـ ٤٩. انظر أيضاً ص ٦٠ حيث المقابلة بين أوضاع المنشورات والأفلاك.
(٢٥) المصدر نفسه، ص ٥٨.
(٢٦) المصدر نفسه، ص ٢٦.

«إما أن يكون رتب ما رتبه من الأجسام وقرر ما قرره على علم منه بما يلزم فيها من المحالات أو على غير علم منه بذلك. فإن كان قرره على غير علم منه بما يلزم فيها من المحالات، فهو عاجز في صناعته، فاسد التصور لها والهيئات التي قررها. وليس يتهم بطلميوس بذلك. وإن كان قرر ما قرره على علم منه بما يلزم فيه، وهذا القسم أحرى به، ويكون سببه أنه اضطر إليه لأنه لم يقدر على أجود منه، وقد ارتكب المحالات على علم منه بها، فقد غلط غلطين: أحدهما المعاني التي قررها التي يلزم منها المحالات، والآخر ارتكاب الغلط على علم منه بأنه غلط. وعلى تصاريف الأحوال، والأشبه بالإنصاف، أن بطلميوس لو قدر على هيئة يقررها للكواكب لا يلزم فيها شيء من المحالات لذكرها وقررها، ولم يعدل عنها إلى ما قرره الذي يلزم منه المحالات الفاحشة، وإنما قنع بما قرره لأنه لم يقدر على أجود منه. والصحيح الذي لا شبهة فيه أن هيئات حركات الكواكب هيئات صحيحة موجودة مطردة لا يلزم فيها شيء من المحالات ولا من المناقضات، وهي غير الهيئات التي قررها بطلميوس، وما وقف عليها بطلميوس ولا وصل فهمه إلى تخيل حقيقتها»[٢٧].

ولا يكتفي ابن الهيثم بهذه الإدانة، بل يعود ليذكر القارىء مرة أخرى أن بطلميوس قد أهمل ذكر «الدوائر الصغيرة» في **كتاب الاقتصاص** مع أنه كان قد استخدمها في **المجسطي** ليعلل حركة الكواكب في العرض. وعندئذ يحدس ابن الهيثم أن بطلميوس لم يفعل ذلك إما لأنه كان يعلم بالتناقضات التي قد يؤدي إليها استخدام هيئة المنشورات، أو أنه كان يود تحاشي التعقيدات الإضافية التي تؤدي إليها الكرات التي كان يجب أن تضاف لو استخدم هيئة الأفلاك التامة. «فرأى أن الإمساك عن شرح هذه الحركة أولى من ارتكاب المحالات التي تلزم فيها»[٢٨].

٣ ـ محتوى كتاب «الاستدراك [على بطلميوس]»

لا نعرف إلا القليل عن مؤلف هذا الكتاب وعن الكتاب نفسه الذي لم يعثر عليه حتى الآن. وكل المعلومات التي يمكن جمعها عن المؤلف موجودة في كتاب آخر له بعنوان **كتاب الهيئة** محفوظ حالياً في نسخة فريدة في مكتبة الجامعة العثمانية في حيدر آباد (الدكن ـ الهند). ومنها نستشف أن مؤلف **كتاب الهيئة** كان يقطن في إسبانيا في القرن الحادي عشر، فهو يتحدث مثلاً عن عالم الفلك الأندلسي الشهير بالزرقيل (الزرقالي) (المتوفى سنة ١٠٩٩م) كأحد أصدقائه. وقد أشار أيضاً إلى أنه قد أورد، في أحد مؤلفاته، وصفاً لآلة استعملت في الأرصاد التي أجريت في طليطلة، دون أن يشير إلى تاريخ تلك الأرصاد.

(٢٧) المصدر نفسه، ص ٦٣ ـ ٦٤.
(٢٨) المصدر نفسه، ص ٦٤.

ويقول مؤلف **كتاب الهيئة** إنه كان يجد بعض ما قاله بطلميوس قابلاً للنقاش، ويضيف بشكل واضح أنه لا يود إقحام اعتراضاته الشخصية في هذا النص المبسط الذي هو بصدد كتابته، لأنه كان قد كرس لتلك الاعتراضات كتاباً خاصاً سماه كتاب **الاستدراك [على بطلميوس]**.

والأسلوب الذي أشار به إلى هذا الكتاب يظهر بوضوح تام الموضوع الذي اشتمل عليه الكتاب. فعندما يتكلم عن الخطأ الحادث بسبب الآلة التي نصبت في «مدينة طليطلة من بلاد الأندلس»، يقول: «في الآلة التي نصبها لها [أي للأرصاد] على ما أخبرني متولي الرصد بها أبو إسحق إبراهيم بن يحيى المعروف بالزرقيل» [ورقة ١٥ظ]. وفي الورقة ١٦و يقول الكاتب إنه قد ألف كتاباً سماه **الاستدراك [على بطلميوس]**. ويقول عند بحثه لأوج الشمس إنه كان «في زمن خلافة المأمون على عشرين جزءاً ونحو ثلثي جزء من الجوزاء. وفي هذه الأشياء نظر من حقها أن تذكر في الاستدراك» [ورقة ٤١ظ].

ويقول المؤلف عند تعرضه لحركات القمر: «قد أعرض على بطلميوس في هذه الحركات بأشياء من حقها أن تذكر فيما هو أبسط من هذا الكتاب، وسنذكرها في الاستدراك إن شاء الله عز وجل» [ورقة ٤٨و].

وأخيراً يقول في معرض كلامه عن أوج الكواكب: «ووجد بطلميوس حركات هذه الأبعاد للكواكب الخمسة تنتقل في مدة ماية سنة جزءاً و[احد] ا، وزعم المتأخرون أنها تقطع الجزء في نحو ست وستين سنة. وسنذكر علة هذا الاختلاف في كتاب **الاستدراك**» [ورقة ٦٨و].

خامساً: الهيئات البديلة لهيئات بطلميوس للكواكب

يمثل الكتابان المذكوران أعلاه جميع ما نعرفه اليوم عن هذا النوع من الكتابات النقدية التي تعرض لها بطلميوس. ولكن هذا لا يعني أن نطاق هذا النشاط النقدي كان ينحصر في هذين الكتابين، أو أن الكتابات النقدية الأخرى لم تلق تأثيراً يبلغ أهمية ما بلغه هذان الكتابان. فاعتماداً على المؤلفات التي كتبت خلال القرون اللاحقة والتي تم العثور عليها، نستطيع الجزم بأن الانتقادات التي أثارها ابن الهيثم كانت تؤخذ مأخذ الجد من قبل علماء الفلك، وأن أكثر من عالم فلكي واحد حاول أن يجد هيئات بديلة لا تشوبها التناقضات التي تضمنتها الهيئة البطلمية.

فإذا أخذنا فارقي الزمان والمكان بعين الاعتبار، يمكننا الآن أن نقسم الردود التي أثارتها هذه الانتقادات ـ والتي كانت بمثابة هيئات بديلة للهيئات البطلمية ـ إلى مدرستين: المدرسة الأندلسية، والمدرسة المشرقية.

١ ـ المدرسة الأندلسية

لقد كان عالم الفلك المجهول الذي كتب **الاستدراك**، بلا شك، رائد مدرسة لاحقة من الفلكيين الذين تابعوا أعماله كما أضافوا انتقاداتهم الخاصة بهم؛ وقد حاول هؤلاء، جميعهم، إعادة صياغة الهيئة البطلمية. فأسماء كل من جابر بن أفلح (المتوفى في أواسط القرن الثاني عشر)، والبطروجي (المتوفى حوالى ١١٩٠م)، وابن رشد (المتوفى سنة ١١٩٨م) ليست سوى أسماء عدد صغير من الذين تناولوا انتقاد الهيئات البطلمية في كتاباتهم التي جرت حولها بعض الدراسات[٢٩].

فإذا أخذنا كتاب **إصلاح المجسطي** لجابر بن أفلح نراه يسهم بشكل رئيسي في هذا المضمار. وذلك أنه يسرد قائمة بحوالى عشر إلى خمس عشرة مسألة ـ يسميها جابر أخطاء ـ ويحاول فيها أن يقود القارىء خطوة خطوة إلى التحقق من الصعوبات والمشاكل التي يتضمنها نص بطلميوس. فإحدى هذه المشاكل الرئيسية هي مثلاً تلك التي تتعلق بمسألة أبعاد الكواكب كما وردت في **المجسطي** و**كتاب الاقتصاص**. فجابر يرى أن كوكب الزهرة على الأقل يجب أن يكون فوق الشمس إذا ما أخذت المعطيات العددية نفسها التي أوردها بطلميوس[٣٠]. وقد أكد جابر بن أفلح[٣١]، تبعاً لحساباته الخاصة، أنه يجب وضع الزهرة وعطارد معاً فوق الشمس.

إن الحجج الرئيسية التي وضع بموجبها جابر بن أفلح كلاً من الزهرة وعطارد فوق الشمس هي التالية: (١) يقر بطلميوس أن زاوية اختلاف منظر الشمس تبلغ حوالى ثلاث

---

(٢٩) لم يحصل كتاب جابر بن أفلح على دراسة وافية حتى الآن. أما كتاب البطروجي فقد نشره: Nūr al-Din Abū Isḥaḳ al-Bitrūjī, *On the Principles of Astronomy*, an edition of the arabic and hebrew versions with translation, analysis, and an arabic - hebrew - english glossary by Bernard R. Goldstein, Yale Studies in the History of Science and Medicine; 7, 2 vols. (New Haven, Conn.: Yale University Press, 1971).

وأما أعمال ابن رشد فقد حللت مع أعمال البطروجي أولاً من قبل: Léon Gauthier, *Ibn Rochd (Averroès)*, les grands philosophes (Paris: Presses universitaires de France, 1948),

وحللت حديثاً من قبل: A. I. Sabra, «The Andalusian Revolt against Ptolemaic Astronomy: Averroes and al-Biṭrūjī,» in: Everett Mendelsohn, ed., *Transformation and Tradition in the Sciences: Essays in Honor of I. Bernard Cohen* (Cambridge; New York: Cambridge University Press, 1984).

(٣٠) لعرض أكمل لمسألة أبعاد الكواكب عند بطلميوس، انظر: Noël M. Swerdlow, «Ptolemy's Theory of the Distances and Sizes of the Planets: A Study of the Scientific Foundations of Medieval Cosmology,» (Doctoral Dissertation, Yale University, 1968) (University Microfilms International 69 - 8442).

(٣١) Escurial, Manuscrits arabes (910), fols. 78^v - 79^r.

دقائق، بينما لا نرى على الإطلاق أي اختلاف منظر لكوكبي الزهرة وعطارد. وهذا لا يمكن أن يعني، بالنسبة الى جابر بن أفلح، إلا أنهما أبعد من الشمس، وبالتالي فهما فوق الشمس حسب ترتيب الأفلاك السماوية. (٢) يأخذ جابر بن أفلح قيمتين أوردهما بطلميوس لنسبة نصف قطر فلك التدوير إلى نصف قطر فلك الحامل لكل من الزهرة وعطارد، ويثبت أننا لو تبنينا هاتين القيمتين لوجب أن نرى اختلاف منظر كل من الزهرة وعطارد يبلغ حوالى ست أو سبع دقائق، وهو تقريباً ضعف اختلاف منظر الشمس. ولكننا لا نرى شيئاً من ذلك، فيجب أن يكون هذان الكوكبان فوق الشمس.

وبعد أن يورد نص بطلميوس الكامل المتعلق بالأبعاد النسبية للكواكب، يخلص جابر إلى القول: «إني لأعجب كل العجب من أمر هذا الرجل وأتحير فيه حيرة عظيمة لما يظهر من تناقضه واضطرابه وهو لا يشعر لذلك» [ورقة ٧٨ظ].

ولما لم يكن ممكناً تحديد الأبعاد المطلقة للكواكب بشكل أكيد، فقد بقيت هذه القضية مجال جدل طيلة فترة القرون الوسطى، ولقد رجع إليها كل من البطروجي ومؤيد الدين العرضي (المتوفى سنة ١٢٦٦م) وغيرهما كما سنرى لاحقاً.

إن المشكلة الرئيسية التي تضمنتها الهيئة البطلمية، بالنسبة الى البطروجي وابن الهيثم، هي أنها ليست أرسطية بشكل كافٍ. ولكن، خلافاً لابن الهيثم، الذي كان يرى أن الحركة على فلك خارج المركز ممكنة القبول من وجهة النظر الأرسطية، لم يقبل البطروجي بالفلك الخارج المركز ولا بفلك التدوير بالمعنى التقليدي الذي اعتمده بطلميوس. فاهتمام البطروجي الرئيسي كان ينصب على ضرورة وجود نقطة واحدة للعالم تدور حولها جميع النقاط الأخرى، وتكون ثابتة ومنطبقة على مركز الأرض. ويظن أن أول من دافع عن هذه النظرة الأرسطية الخالصة كان أستاذ البطروجي، ابن طفيل (المتوفى سنة ١١٨٥م)، الذي أعلن عن عزمه على كتابة مؤلف يعرض فيه هذه الهيئة، إلا أنه لم يفعل ذلك، على ما يبدو.

وقد تمت متابعة هذه المحاولات في **كتاب الهيئة** للبطروجي، الذي ألفه خصيصاً لتطوير تلك النظرية الفلكية، وفيما بعد في أعمال ابن رشد (خاصة في شرحه لكتاب أرسطو **ما بعد الطبيعة**) الذي اكتفى بعرض اعتراضاته بشكل وصفي فقط.

لقد بقي كل هذا النشاط محدوداً في تطبيقاته وفي مداه، وذلك لأن الهيئات الجديدة المقترحة ـ كالهيئة التي اقترحها البطروجي ـ لم تكن ناجحة حقاً في إعطاء النتائج البطلمية التحليلية والرصدية على الوجه المطلوب. لذلك كانت هناك حاجة حقيقية لإيجاد هيئات جديدة لا تشوبها الشوائب التي ألمت بهيئة بطلميوس، وتحافظ في آن واحد على النتائج الرصدية البطلمية الصحيحة، وتفسر الظواهر نفسها التي فسرتها هيئات بطلميوس للكواكب.

لقد أنجز التقدم الحقيقي في هذا المضمار في مشرق العالم الإسلامي، حيث حصلت أجيال من علماء الفلك، ابتداءً من القرن الحادي عشر وحتى ما بعد القرن الرابع عشر،

على عدد من النتائج. وقد بدأت هذه النتائج أولاً، بتحديد المشاكل الرئيسية في الهيئة البطلمية، وبحل هذه المشاكل بعد ذلك بأساليب تقنية جديدة ملائمة للمبادىء الأولية الأرسطية للكون.

٢ ـ المدرسة المشرقية

المدرسة المشرقية المعنية هنا هي المعروفة في الدراسات الحديثة باسم «مدرسة مراغة»[٣٢]، وذلك لأن الفلكيين المعروفين الذين تضمنت أعمالهم هيئات غير بطلمية قد عملوا جميعاً، سوى واحد منهم، في وقت من الأوقات وبشكل أو بآخر في مرصد مراغة (في الشمال الغربي من إيران حالياً) خلال النصف الأخير من القرن الثالث عشر. إن ما نعرفه حول هذا النشاط قد ازداد اليوم عما كان عليه سابقاً. فنحن نعرف أن هذا النشاط لم يكن مقتصراً على أجواء مرصد مراغة، ولا منحصراً في غضون القرن الثالث عشر. لذلك اخترنا عبارة «المدرسة المشرقية» لنقابل بها ما كان يجري في هذه المنطقة المشرقية من العالم الإسلامي بما كان يجري في الأندلس والذي أشير إليه بـ «الثورة الأندلسية».

لحسن الحظ أن نشاطات المدرسة المشرقية تتسم بشيء من التناسق والترابط. لذلك يمكن القول بأنها تنتمي إلى تقليد واحد. فموقف علماء الفلك في هذه المدرسة من أرسطو ومن علم الكون الأرسطي كان يختلف تماماً عن موقف زملائهم المغربيين في الأندلس. فبينما كان علماء الفلك الأندلسيون يصبون اهتمامهم على عدم إمكانية وجود الأفلاك الخارجة المراكز وأفلاك التداوير، لأنها كانت تتعارض مع المبدأ الأرسطي القائل بوجود مركز للعالم تدور حوله جميع الحركات الدورية، كان علماء الفلك المشرقيون يعتبرون أن هذه المشكلة ليست في الحقيقة إلا مشكلة وهمية. وذلك، حسب كلام ابن الشاطر، إن: «. . . وجود أفلاك صغار كأفلاك التداوير غير محيطة بمركز العالم غير ممتنع في سوى الفلك التاسع، ويدل على ذلك أنه كما وجد في كل فلك كوكب، وفي الثامن كواكب كثيرة كرية كل واحد منها أعظم من بعض تداوير بعض الكواكب، والكوكب مخالف لجسم الفلك، فلا يمتنع وجود أفلاك تداوير ونحوها. ومن هنا يفهم أن الأفلاك فيها تركيب ما، والبسيط المطلق هو التاسع، ولا يمكن أن يتصور فيه كوكب ولا غيره»[٣٣].

ويعبر ابن الشاطر فيما بعد عن هذا الرأي عندما يقول عن الفلكيين: «اختلفوا في حركات الأفلاك الصغار غير المحيطة بمركز العالم كفلك التدوير ونحوه، فأجمعوا على جواز

---

(٣٢) انظر مثلاً: Edward Stewart Kennedy [et al.], *Studies in the Islamic Exact Sciences* (Beirut: American University of Beirut, ©1983), passim.

(٣٣) ابن الشاطر، **نهاية السول في تصحيح الأصول** (مخطوطة مكتبة بودلين، مارش، ١٣٩)، الورقة ٤ ظ.

حركاتها إلى أي جهة فرضت، مستدلين بأن لفلك التدوير نصفاً أعلى ونصفاً [المخطوط: نصف] أسفل، فإن تحرك في أعلاه إلى التوالي تحرك في أسفله إلى خلاف التوالي، وعكسه. فلا تكون حركته قسرية ولا عرضية بل طبيعية. وأجمعوا على جواز التدوير في غير الفلك التاسع لوجود ما نراه من الكواكب في الأفلاك. فإن الكوكب في الفلك يدل على تركيب ما. ومن قال بأن الأفلاك بسائط يمتنع وجود التدوير فيها وإن يكن ثمّ حركة على غير المركز فليست هي بسيطة، قلت قد تعين وجود التداوير وحركاتها. فإن امتنع ذلك ببرهان قطعي، ثبت تركيب الأفلاك وعدم البساطة فيها. وعندي أنها مركبة من بسايط لا من العناصر، خلا التاسع، والله أعلم بالصواب»(٣٤).

فالمشكلة بالنسبة إلى المدرسة المشرقية كانت مشكلة استنباط هيئات تتلاءم مع الأرصاد البطلمية، وتفسر الظواهر، وتكون متماسكة من وجهتي النظر الرياضية والفيزيائية. وهذا يعني أن اهتمامهم كان ينصب حول إيجاد هيئات يستطيعون بواسطتها أن يصفوا حركات الأفلاك، التي تحمل الكواكب المختلفة، بتعابير هندسية رياضية دون أن تتعارض الفرضيات الرياضية مع المعطيات الفيزيائية.

فالاتجاه العام للبحوث، التي قامت بها المدرسة المشرقية، يوصف عادة في الدراسات الحديثة بأنه فلسفي، وذلك لأنه كان يقبل بجميع نتائج أرصاد بطلميوس، وكان يثير فقط بعض الاعتراضات الفلسفية على هيئاته.

لقد أكدت في مكان آخر أن الهيئة التي ابتكرها ابن الشاطر للشمس هي الهيئة الوحيدة، حسب علمنا إلى الآن، التي تبدو وكأنها وضعت لاعتبارات فلسفية ورصدية في آن واحد(٣٥). وقد أسهبت في ذلك المقال بالبحث حول موقف ابن الشاطر من الأرصاد عامة، وأكدت أن المنحى الذي نحاه في توهم هيئة للشمس يرتكز على الأرصاد التي قام هو بها وأنه لم يكن نتيجة لاعتبارات فلسفية فقط، إذ لم يكن هناك أي اعتراض فلسفي على الهيئة البطلمية للشمس كما رأينا. وفي الواقع، إنني لا أعرف فلكياً آخر أقام أي اعتراض على هيئة الشمس البطلمية، أو أتى بهيئة بديلة عنها.

ولكي أستعرض جميع نشاطات المدرسة المشرقية، سوف أفرد البحث في هيئة ابن الشاطر للشمس، لأنها كانت حقاً فريدة من نوعها ولأنها كانت الهيئة البديلة الوحيدة للشمس. سوف أرسي الأسس التي قام عليها اعتراضه على هيئة بطلميوس للشمس وأتبع ذلك بعرض مقتضب لهيئة ابن الشاطر نفسها. وتوخياً لعدم الإطالة والتكرار، سوف أتلو

---

(٣٤) المصدر نفسه، الورقة ١٠ظ.

(٣٥) George Saliba, «Theory and Observation in Islamic Astronomy: The Work of Ibn al-Shāṭir of Damascus (d. 1375),» *Journal for the History of Astronomy*, vol. 18 (1987), pp. 35 - 43.

ذلك بالهيئات التي اقترحت للكواكب الأخرى، الواحدة تلو الثانية، متبعاً في ذلك التسلسل التاريخي لجميع الهيئات التي اقترحت لكل كوكب على حدة.

أ ـ هيئة الشمس لابن الشاطر

لقد اقترح بطلميوس هيئتين للشمس (الشكل رقم (٣ ـ ١)): هيئة تتضمن فلكاً خارج المركز وأخرى تتضمن فلك التدوير. وكانت هاتان الهيئتان مقبولتين من وجهة النظر الفلسفية، لأنهما مكنتا حقاً من وصف حركة الأجسام الطبيعية. ولكن بسبب افتراضات أخرى لهيئة الشمس كان بطلميوس يرى مثلاً أن قطر الشمس المرئي هو دوماً ثابت، وقدره 20 , 31 ;0 درجة، في جميع أبعاد الشمس. وهو بالتالي مساوٍ لقطر القمر المرئي عندما يكون القمر في أبعد أبعاده من الأرض. وبالطبع، فإن هذا الافتراض يعني أولاً أن خروج مركز فلك الشمس، في أفضل حالاته، ذو تأثير لا يعتد به على القطر المرئي للشمس، وهذا ما هو صحيح بشكل تقريبي. وينفي ثانياً إمكانية حدوث الكسوفات الحلقية للشمس، وهذا ما يتعارض مع الأرصاد.

ليس لدينا للأسف النص الواضح الذي وصف فيه ابن الشاطر اعتراضاته على فرضيات بطلميوس هذه. غير أننا نعرف مثلاً، من خلال ملاحظاته، الواردة في كتابه **نهاية السول**[٣٦]، أنه كان يسلم، خلافاً لبطلميوس، بإمكانية حدوث الكسوفات الحلقية[٣٧]. ونحن نعلم أيضاً من نتائجه الرصدية التي أشار إليها فقط في **نهاية السول** أنه كان يعتبر، خلافاً لبطلميوس أيضاً، أن قطر الشمس المرئي متغير. ويحيل ابن الشاطر القارىء إلى أحد كتبه الأخرى، وهو كتاب **تعليق الأرصاد**. والمفروض أن يكون قد حلل فيه هذه الأرصاد بالتفصيل. ولكن، مع الأسف، لم يعثر حتى الآن على هذا الكتاب الذي يعتبر مفقوداً.

وقد أعطى ابن الشاطر، في موضعين مختلفين من **النهاية**[٣٨] قيمة قطر الشمس المرئي كما يلي:

0; 29, 5 درجة في الأوج

0; 32, 32 درجة في البعد الأوسط

0; 36, 55 درجة في الحضيض.

---

(٣٦) لقد أنجز كاتب هذه السطور تحقيقاً علمياً لنص ابن الشاطر هذا، وهو الآن في طور التجهيز للطبع. أما المراجع المثبتة هنا فهي تعيد القارىء إلى: ابن السهل، **نهاية السول في تصحيح الأصول** (مخطوطة مكتبة بودلين، مارش، ١٣٩).

(٣٧) المصدر نفسه، الورقة ٣٨و.

(٣٨) المصدر نفسه، الورقتان ١٢ظ و ٤١و.

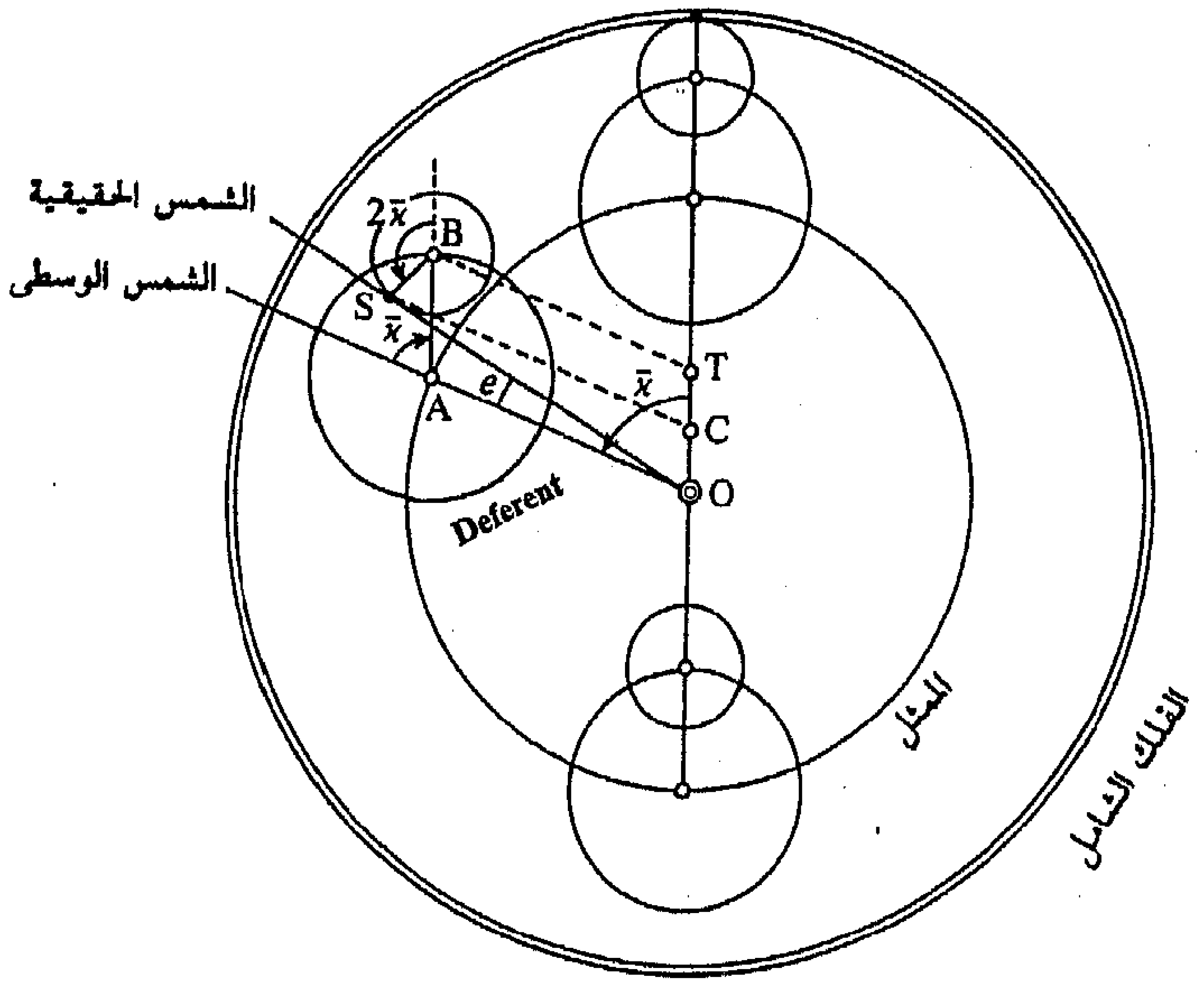
وهذا يدل، دون أدنى شك، على أنه كان يعود إلى الأرصاد التي قام هو بها، كما كان هو بنفسه يشير في أكثر من عبارة مثل: «تحرر بالرصد»، و«حققت ذلك بالرصد».

ويقول ابن الشاطر في سياق آخر(٣٩)، إنه رصد الشمس في منتصف الفصول فوجد أن التعديل الأقصى للشمس، الذي يتوقف على مقدار خروج المركز، مختلف عن الذي يمليه بطلميوس. والتعديل الأقصى عند ابن الشاطر هو 6 ,2 ;2 درجة، وذلك يوجب أن يكون مقدار خروج المركز يعادل 7 ;2، عوضاً عن 30 ;2 جزء المقدار الذي أعطاه بطلميوس.

وبما أننا لا نعرف تفاصيل الطرق التي اتبعها ابن الشاطر في رصده، فإننا نفضل الامتناع هنا عن التعليق على إمكانية صدق هذه البيانات أو على مدى صحتها. ولكن نستطيع أن نقول ببساطة ان ابن الشاطر تمكن من إقناع نفسه بأن النتائج التي توصل إليها كانت حقاً أدق من تلك التي توصل إليها بطلميوس، وأن عليه بالتالي أن يجد هيئة تتلاءم مع هذه النتائج التي كانت متعارضة مع الهيئة البطلمية. فقد كان عليه إذن أن يجد هيئة يكون خروج المركز فيها أقل مما كان عليه في هيئة بطلميوس، لكي يؤدي إلى تعديل أقصى أقل. ولكنها يجب أن تسمح للشمس في نفس الوقت أن تقترب كثيراً من الأرض لكي يبدو قطرها على زاوية قدرها 55 ,36 ;0 درجة، وأن تبتعد أكثر عن الأرض ليبدو قطرها على زاوية 5 ,29 ;0 درجة. فيجب أن تكون لنسبة القدر الأعظم إلى القدر الأصغر القيمة التقريبية: 1.26934 = 5 ,29 ;0/55 ,36 ;0.

ولكي يتم له ذلك يفترض ابن الشاطر وجود الأفلاك التالية لهيئة الشمس (الشكل رقم (٣ ـ ٩)): (١) الفلك الأول ويسمى الفلك الممثل، نصف قطره ستون جزءاً، ومركزه هو النقطة O مكان الراصد ومركز العالم. وهو يدور على توالي البروج بقدر حركة الشمس الوسطى اليومية وهي 32,3 ,57 ,46 ,51 ,9 ,8 ,59 ;0 درجة في اليوم. ويحمل هذا الفلك فلكاً آخر (٢) يسمى الفلك الحامل، نصف قطره 37 ;4 جزءاً من الأجزاء التي كان بها نصف قطر الفلك الأول ستين جزءاً. ويدور الفلك الثاني حول مركزه بمثل حركة الفلك الأول، ولكن بالاتجاه المعاكس، بحيث يبقى الخط AB دائماً موازياً للخط OCT وبحيث تكون النتيجة التي يحصل عليها هي عينها لو عوض عن خروج المركز OT بفلك تدوير مركزه A كما في الشكل رقم (٣ ـ ٩). أما الفلك الثالث (٣)، فيسمى المدير، ونصف قطره 30 ;2 جزءاً. يديره الفلك الحامل باتجاه خلاف التوالي، بينما يتحرك حول مركزه بالاتجاه المعاكس (أي باتجاه التوالي) بحركة مساوية لضعف حركة الفلك الأول. ويحمل الفلك الثالث الشمس S التي تبدو الآن حسب قضية العرضي التي ستبحث لاحقاً، وكأنها تدور بحركة مستوية حول النقطة C. وأخيراً يحتوي فلك رابع (٤) يسمى الفلك الشامل على جميع هذه الأفلاك ويدور على التوالي بحركة أوج الشمس التي كانت تقدر بدرجة واحدة لكل ستين سنة فارسية.

(٣٩) المصدر نفسه، الورقة ٣ ظ.



الشكل رقم (٣ ــ ٩)

فنتيجة لهذه الهيئة تتحرك الشمس S بحركة مستوية حول النقطة C، أي يكون خروج المركز OC مساوياً لـ 7 ;2 = 30 ;2 − 37 ;4، وهو أقل من خروج المركز الذي يعادل 30 ;2 عند بطلميوس. وهذا ما يؤدي إلى أطوال مشابهة لتلك التي حصل عليها بطلميوس، وهي التي تصحح لاحقاً بالتعديل الأعظم. ولكن، بخلاف هيئة بطلميوس، تسمح هيئة ابن الشاطر لقطر الشمس المرئي أن يتغير بنسبة قدرها:

$$67; 7 / 52; 53 = 1.26914,$$

التي هي قريبة جداً من النتيجة التي تنبأت بها أرصاد قطر الشمس المرئي. ويضيف ابن الشاطر قائلاً إن للهيئة التي استنبطها فضيلة أخرى إضافية وهي أن جميع الحركات الوسطى تتم حول نقطة O التي هي مقام الراصد، وليس حول مركز الخارج كما هي الحال في الهيئة البطلمية.

ب ـ هيئات أفلاك القمر

لقد رأينا سابقاً (الشكل رقم (٣ ـ ٢)) أن هيئة بطلميوس للقمر تتضمن تناقضين أساسيين. التناقض الأول يكمن في حركة الفلك الحامل الذي يبدو وكأنه يرسم، حسب هيئة بطلميوس، أقواساً متساوية في أزمان متساوية حول مركز العالم وليس حول مركزه،

وذلك محال. والتناقض الثاني يكمن في عدم وجود آلية تسمح لقطر فلك التدوير، الذي يصل بين الذروة الوسطى ومركز التدوير، أن يتصوب دائماً نحو نقطة المحاذاة عوضاً عن مركز الحامل.

والإصلاحات التي قام بها فلكيو القرن الثالث عشر للميلاد تضمنت، فيما تضمنت، عدة اقتراحات لهيئات بديلة عن هيئة بطلميوس للقمر. وقد اقترح إحدى هذه الهيئات عالم الفلك الدمشقي مؤيد الدين العرضي (المتوفى سنة ١٢٦٦م) في وقتٍ ما قبل سنة ١٢٥٩م(٤٠).

(١) هيئة العرضي للقمر

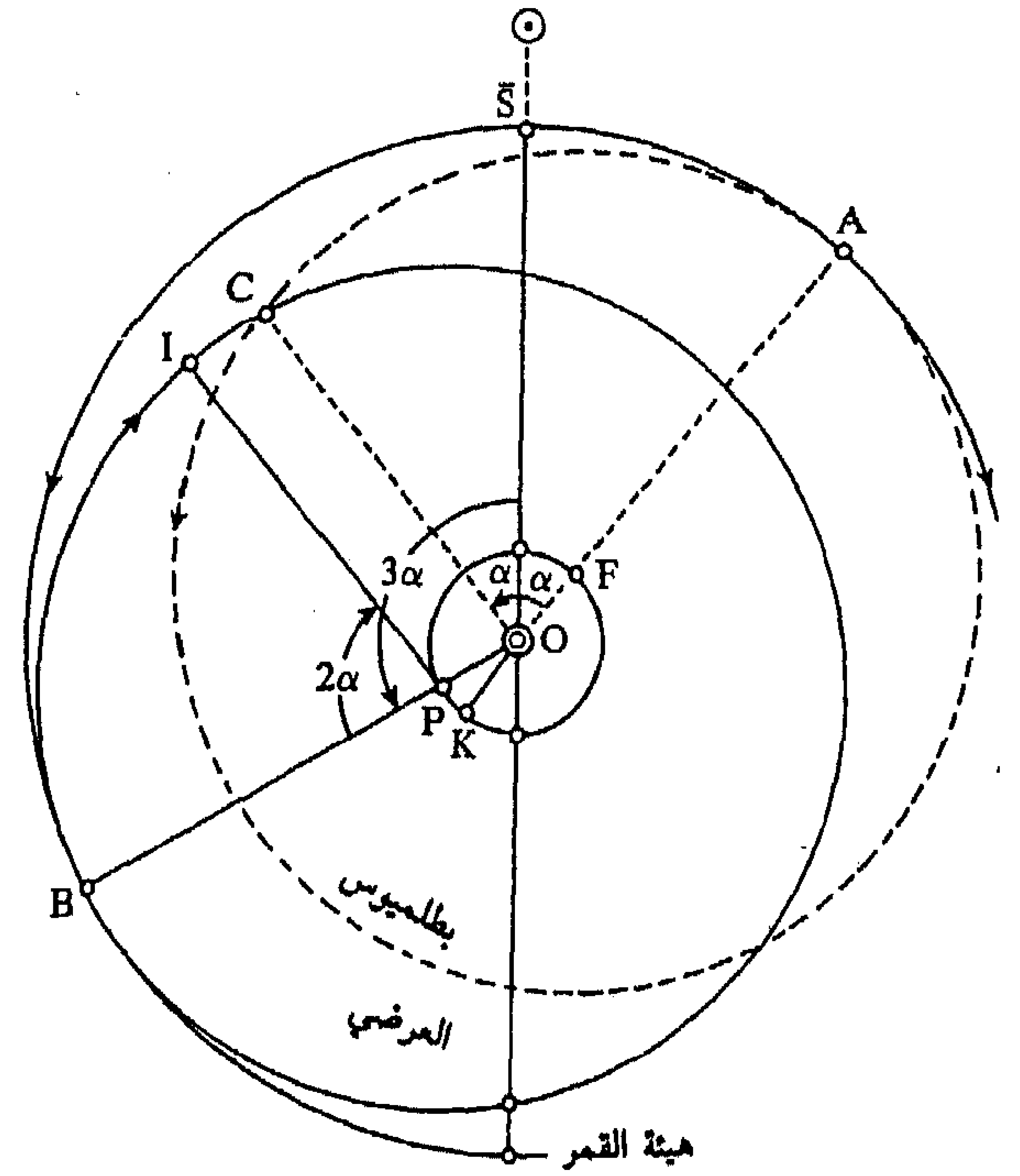
غيّر العرضي، لكي يتجنب المحال الأول، اتجاه حركة الفلك المائل عند بطلميوس، إذ جعله يتحرك، تبعاً لهيئته الجديدة، باتجاه توالي البروج عوضاً عن الاتجاه المعاكس. وينتقل أوج الفلك الحامل، وفقاً لهذا الترتيب الجديد (الشكل رقم (٣ ـ ١٠))، باتجاه توالي البروج إلى النقطة B. ويفرض العرضي أيضاً أن تكون حركة الفلك المائل المطلقة ثلاثة أضعاف الحركة المفروضة في الهيئة البطلمية. ولما كان مركز الفلك المائل موافقاً لمركز العالم، فذلك يعني أن الزاوية SOB مساوية لثلاثة أضعاف الزاوية SOA.

ولما كان الفلك الحامل يتحرك بحركة الفلك المائل باتجاه التوالي، فإن الأوج الذي كان يحمل إلى النقطة A في هيئة بطلميوس ينتقل الآن إلى النقطة B. يفرض العرضي، بعد ذلك، أن الفلك الحامل نفسه يتحرك حول مركزه الذاتي P باتجاه خلاف التوالي، بحركة مساوية لضعف الحركة المطلقة التي يفرضها بطلميوس. وذلك يعني أن النقطة B تتراجع إلى النقطة I، ويصبح الخط PI موازياً للخط OC الذي هو الاتجاه الأصلي لمركز التدوير عند بطلميوس بالنسبة الى مقام الراصد على النقطة O. وتتحقق جميع هذه الحركات، التي أشير إليها حتى الآن، بحركات أفلاكٍ تدور حول مراكزها الذاتية، فلا تناقض بالتالي مبادىء الحركة المستوية. هنا يشير العرضي إلى أن هيئته تصف الحركات الوسطى فقط، تماماً كما تفعل هيئة بطلميوس، وعليه، يجب أن يعتبر اتجاه الخط PI معادلاً لاتجاه الخط OC لأنه مواز له. وهكذا يمكن، في إطار هذه الهيئة، أن يتحرك مركز التدوير نحو نفس الموضع المفروض في هيئة بطلميوس، دون أن يحصل التناقض الأول المذكور أعلاه.

---

(٤٠) لتاريخ أعمال العرضي، انظر: George Saliba, «The First Non - Ptolemaic Astronomy at the Maraghah School,» *Isis*, vol. 70, no. 254 (December 1979), pp. 571 - 576, and مؤيد الدين العرضي، **تاريخ علم الفلك العربي، مؤيد الدين العرضي (المتوفى سنة ٦٦٤هـ ـ ١٢٦٦م): كتاب الهيئة**، تحقيق وتقديم جورج صليبا، سلسلة تاريخ العلوم عند العرب؛ ٢ (بيروت: مركز دراسات الوحدة العربية، ١٩٩٠).

وتسمح الهيئة الجديدة كذلك بتجنب التناقض الثاني الخاص بنقطة المحاذاة، إذ يستطيع المرء أن يرى الآن أن الخط PI يمر بالنقطة K في الشكل رقم (٣ ـ ١٠) التي هي عادة قريبة جداً من النقطة N في الشكل رقم (٣ ـ ٢). وهكذا يبدو هذا الخط على النقطة I وكأنه آت من نقطة المحاذاة عند بطلميوس N. فنتيجة لذلك تكون الذروة الوسطى، في هذه الهيئة، نقطة ثابتة هي نقطة التماس المشتركة بين فلك الحامل وفلك التدوير، وتقع بشكل طبيعي على طرف الخط الواصل بين مركزي الحامل والتدوير.



الشكل رقم (٣ ـ ١٠)

وهكذا استطاع العرضي، بتغييره لاتجاه الحركة وبتعديله لقيمتها، أن يحافظ على أرصاد بطلميوس وأن يحصل على الحركات المتوقعة للقمر دون أن يتنازل عن المبادىء الطبيعية التي كان بطلميوس نفسه يقبل بها. وكان العرضي يدرك تمام الإدراك أهمية الخطوة الكبرى التي حققها، والاختلاف الذي كان يفصل هيئته عن هيئة بطلميوس. ولكنه لم يعر ذلك اهتماماً، بل كان ينصح القارىء بأن يأخذ أرصاد بطلميوس فقط على أنها واقعة حقاً، وأن لا يأخذ بالطرق الرياضية ـ مثل اتجاه الحركة وكميتها ـ التي استخدمها بطلميوس في تعليله لهذه الأرصاد. فهذه الطرق الرياضية، حسب رأي العرضي، ليست إلا حدساً حدسه بطلميوس، ولا يجب التقيد بها، لأنه ليس هو أولى بالحدس من غيره.

يعود العرضي بعد ذلك إلى مسألة الاختلاف بين هيئته وهيئة بطلميوس، فيحسب الاختلاف في التعديل الذي يحصل نتيجة الاختلاف بين نقطتي المحاذاة في الهيئتين. ويصل، بعد نقاش طويل، إلى أن الفرق بين التعديلين لا يتعدى الدقيقتين والنصف. وهذا ما يعتبره العرضي مباحاً لأن بطلميوس كان قد أباح لنفسه التساهل بأربع دقائق مبرراً ذلك بأن مثل هذا الفرق قد يفوت حتى الراصد الماهر. لذلك أحس العرضي بالارتياح للهيئة التي ابتدعها، وحث القارىء على القبول بها وعلى رفض هيئة بطلميوس التي اتضح أنها نسيج من التناقضات.

إن البديل عن الهيئة التي أتى بها العرضي، يرتكز، حسب كلامه، على القبول بوجود أفلاك تتحرك حركات غير مستوية حول مراكزها: «وإن نحن سلمنا أن فلكاً يتحرك على مركزه فيبطىء تارة ويسرع أخرى، فلا حاجة بنا إلى شيء من جميع ما تكلفوه من أمر الهيئة. ويكون حاصل هذا الأمر إنما هو معرفة تعديل الحركات بواسطة تخيل أشياء باطلة»[٤١].

(٢) هيئة الطوسي للقمر

ناقش الطوسي هيئة بطلميوس للقمر في الفصل السابع من الباب الثاني من أشهر كتاب له في علم الفلك وهو كتاب **التذكرة في علم الهيئة**. وقد أشار، عند وصوله إلى المواضع الصعبة من ذلك الفصل، إلى أن هذه الهيئة تتضمن بعض المشاكل وأنه ينوي معالجتها فيما بعد. ولقد كرس في الواقع، بعد أن أنهى عرض الهيئات الخاصة بالكواكب العليا وبكوكب عطارد، فصلاً خاصاً لمعالجة معظم تلك المشاكل التي لاقاها إلى ذلك الحين. وتتبين لنا فعالية الخطة التي اتبعها الطوسي عندما نرى أن الهيئة التي تبناها لحركات القمر كانت تشمل في نفس الوقت حلاً لحركات الكواكب العليا، وبالتالي فقد وضعها في آخر السياق ليعالج الهيئتين معاً في آن واحد.

إن المشكلة الأساسية في هيئة بطلميوس للقمر، حسب فهم الطوسي لها، هي أن تلك الهيئة لا تسمح لمركز فلك التدوير بالاقتراب من مركز العالم وبالابتعاد عنه دون إدخال الآلية التي استخدمها بطلميوس. لنفرض أنه يمكننا بطريقة ما، أن نبقي مركز الفلك الحامل منطبقاً على مركز العالم، وأن نسمح للخط الواصل بين مركزي الفلك الحامل وفلك التدوير أن يقصر عندما يكون القمر في التربيع وأن يطول في الاجتماع والاستقبال. عندئذ يمكن أن يتحرك الفلك الحامل بحركة مستوية حول مركزه، ويمكن في نفس الوقت تعليل الاختلافات الكبرى في التعديل الناتج عن قطر التدوير.

وإذا توهمنا المشكلة على هذا النحو، يمكن تلخيصها على أنها مشكلة إيجاد آلية تسمح

(٤١) انظر: العرضي، المصدر نفسه، ص ١٣٧.

لكمية متجهية بأن تقصر وتطول نتيجة لحركة دائرية فقط. وبكلام آخر، تحل هذه المشكلة إذا أمكن وجود متجه يتأرجح طرفه إلى الأمام وإلى الوراء نتيجة لحركة دائرية مستوية. وهذه المشكلة هي نفسها التي أشرنا إليها سابقاً والتي واجهها بطلميوس في تأرجح السطوح التي استخدمها في هيئة حركة الكواكب في العرض ما عدا القمر. ولقد اقترح الطوسي، في هذا السياق، آلية جديدة ورد وصفها في أحد كتبه الأخرى المشهور بـ **تحرير المجسطي** الذي ألفه سنة ١٢٤٧م. وقد استطاع بواسطتها أن يثبت أطراف الأقطار المتأرجحة على دائرتين متساويتين ـ وهما اللتان تم وصفهما فيما بعد بـ «مزدوجة الطوسي» ـ وجعل تلك الأطراف تتأرجح باتجاه خطي ناتج عن حركة دائرية. ولم يبق على الطوسي إلا أن يعمم ذلك الحل الذي اقترحه لحركة الكواكب في العرض لينطبق على المتطلبات الخاصة بهيئة القمر، وأن يطبقه بالتالي على هيئة الكواكب العليا.

فلا عجب إذاً في أن يبدأ الطوسي الفصل الذي خصصه لعرض الهيئات البديلة ببسط النظرية التي سميت لاحقاً بـ «نظرية مزدوجة الطوسي» وبإيراد البرهان عليها. جاء ذلك في الفصل الحادي عشر من الباب الثاني من كتاب **التذكرة** المشار إليه سابقاً.

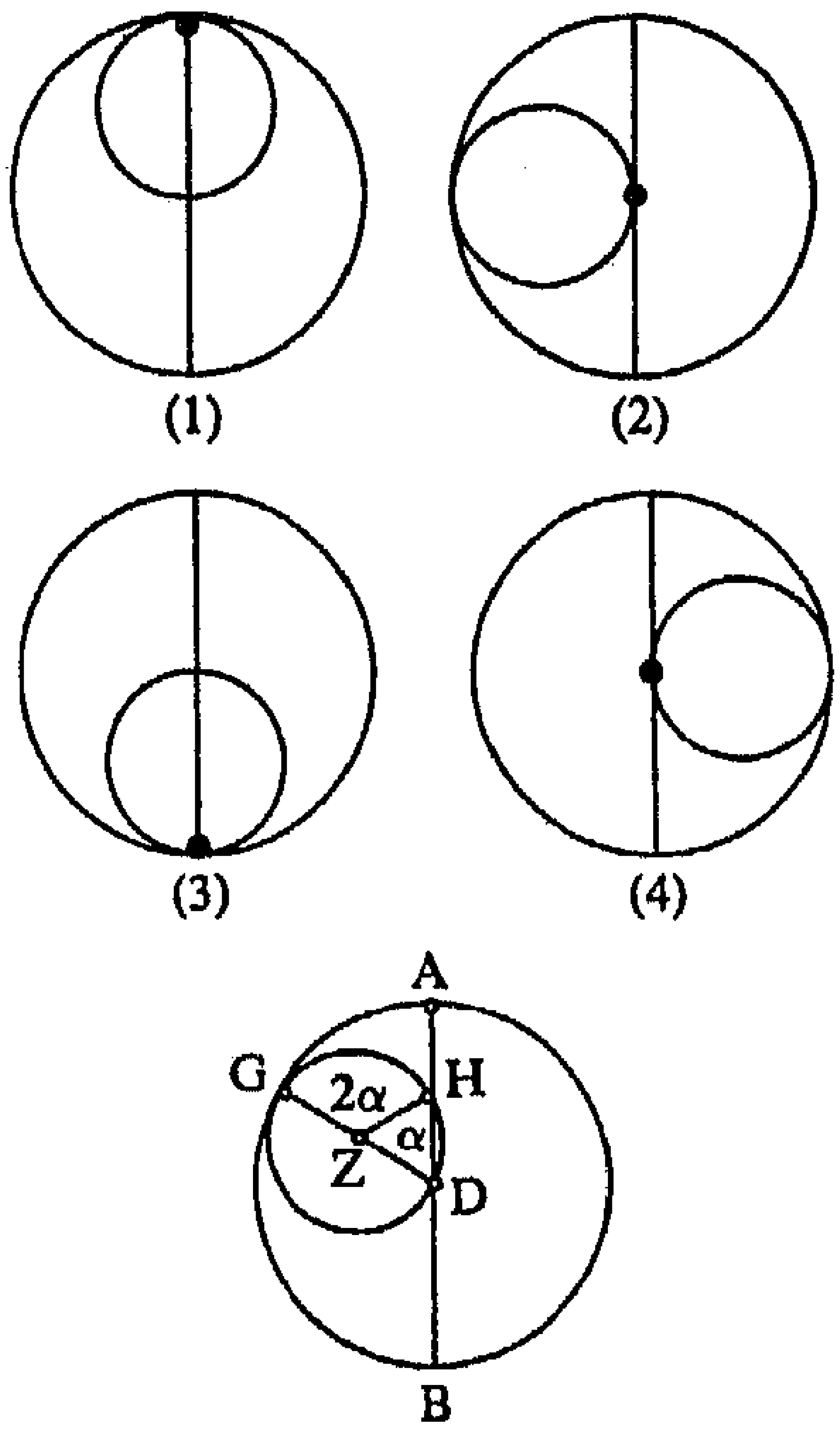
لقد ورد ذكر هذه النظرية، في أول الأمر، في حالة خاصة هي حالة السطح المستوي، وعممت لاحقاً لتشمل سطح الكرة[٤٢]. ويمكن صياغة هذه النظرية، في حالة السطح المستوي، على الشكل التالي: لنأخذ دائرتين (الشكل رقم (٣ ـ ١١)) بحيث تكون إحداهما مماسة للأخرى من الداخل ويكون قطرها مساوياً لنصف قطر الدائرة الأخرى الشاملة للأولى. لنفرض أن الدائرة الصغيرة الداخلية تتحرك باتجاه مخالف لحركة الدائرة الشاملة، وبسرعة تكون ضعف سرعة الكبرى، ولنأخذ النقطة التي تكون أولاً على طرف قطر الدائرة الكبرى وعلى محيط الدائرة الصغرى، أي نقطة التماس. فإن هذه النقطة تتردد على طول قطر الدائرة الكبرى وبين طرفيه.

يشير الطوسي، بعد برهان هذه النتيجة، إلى أنه عوضاً عن هاتين الدائرتين يمكن أخذ كرتين يكون قطراهما ووضعهما بالنسبة الى بعضهما البعض مساوياً لوضع الدائرتين المذكورتين. ولو صح ذلك لأمكن أن تكون ثخانة هاتين الكرتين كافية لاحتواء كرات أخرى مثل فلك تدوير القمر في هيئة بطلميوس. وقد فرض الطوسي أن فلك تدوير القمر محوي ضمن كرتين مماثلتين، وجعل المركز الأصلي للتدوير مطابقاً لنقطة التماس الأصلية. وهذا ما يسمح لمركز فلك تدوير القمر بأن يتردد على طول قطر الكرة الكبرى. وبالتالي لم يعد هناك حاجة للفلك الحامل الخارج المركز في هيئة بطلميوس، ولا للآلية التي

---

(٤٢) لقد أصدر البارون كارا دو ڤو (Le Baron Carra de Vaux) ترجمة بالفرنسية لهذا الفصل المتضمن للقضية المذكورة، كما صدرت ترجمة للفصل نفسه بالإنكليزية ضمن: Faiz Jamil Ragep, «Cosmography in the Tadhkira of Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī,» (Unpublished Doctoral Dissertation, Harvard University, Department of History of Sciences, 1982), pp. 95 ff.

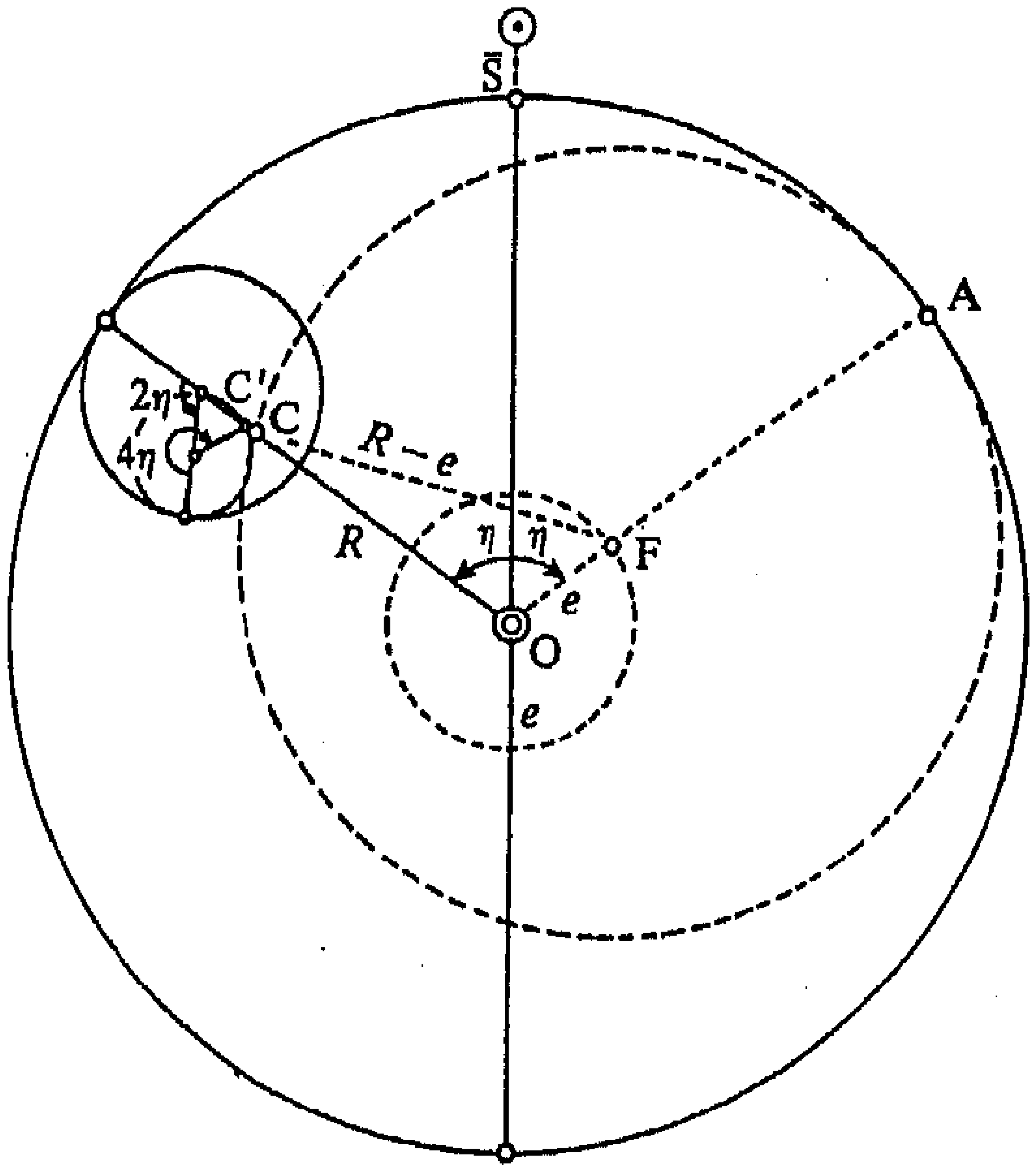
أضافها، لأن استخدامهما كان قد تم لتقريب فلك تدوير القمر من الأرض في حال التربيع ولإبعاده عنها في الاجتماع والاستقبال.



الشكل رقم (٣ ـ ١١)

ولو نسبنا إلى هاتين الكرتين حركات مماثلة لتلك التي وجدها بطلميوس بالرصد، لاستطاع المرء أن يجد هيئة (الشكل رقم (٣ ـ ١٢)) يتحرك فيها الفلك الحامل للقمر بحركة مستوية حول مركز العالم، وذلك لحل الإشكال الأول في هيئة بطلميوس، ويقترب فيها مركز التدوير من الأرض في حال التربيع ويبتعد عنها في الاستقبال والاجتماع ليؤدي، ولو بشكل تقريبي، إلى التعديلات القصوى التي رصدها بطلميوس. وبالنسبة الى نقطة المحاذاة، يستخدم الطوسي «مزدوجة» كروية شبيهة بـ «المزدوجة» المستوية، تمكن طرفي قطر التدوير من التردد باتجاهين مختلفين على قوس تعادل غايتها الاختلاف الأقصى الذي وجده بطلميوس.

ويبرهن الطوسي، بعد ذلك، أن مسار مركز فلك التدوير حول الأرض ليس بدائرة مع أنه يشبه الدائرة. وبعد التيقن من فوائد هذه «المزدوجة» يعممها الطوسي ليحل بها إشكال هيئة الكواكب العليا، التي سيأتي ذكرها لاحقاً، ويستخدمها في هيئة الكواكب في العرض كما ألمحنا سابقاً.



الشكل رقم (٣ ـ ١٢)

(٣) هيئة القمر لدى قطب الدين الشيرازي (المتوفى سنة ١٣١١م)

يبدأ الشيرازي مناقشة هيئة القمر في كتابه **نهاية الإدراك**[٤٣]، ورقة ٥٤ ظ وباستعراض عام للشروط التي تتضمنها هيئة بطلميوس. ويخلص إلى القول بأن هيئة القمر البطلمية تصف بشكل جيد الظواهر الرصدية. وبعد أن يعطي قائمة مفصلة بالأرصاد التي تتطلب أفلاكاً في هيئة القمر يعود ويعطي عدد الأفلاك التي لا يمكن الاستغناء عنها في هذه الهيئة. ثم يكرس القسم التالي لحركات هذه الأفلاك المختلفة ولكيفية تركيبها كي ينتج عنها النتائج الرصدية المتعددة، وهو يعطي في كل حالة الحركات الوسطى لهذه الأفلاك. وينتقل تواً، بعد هذا الملخص إلى بحث الاختلافات التي يمكن رصدها بين حركات القمر الوسطى والحقيقية. ويعطي، في نفس هذا الفصل، مقادير المعادلات القصوى التي هي بدورها مثل مقادير الحركات الوسطى التي أعطاها بطلميوس.

ويعود الشيرازي ويلخص، على الورقة ٦٠ ظ الاعتراضات التي أثيرت حول الهيئة البطلمية التي ما كاد ينتهي من وصفها. وهو، في الواقع، يورد الاعتراضين المشهورين اللذين أشير إليهما سابقاً، وهما المحال الناتج عن حركة الفلك الحامل الذي يدور حول

---

(٤٣) نستخدم في هذه الدراسة مخطوطة كوبرولو (Koprülü) رقم (٦٥٧) المؤرخ في العشرين من جمادى الأولى سنة ٦٨١ للهجرة الموافق لـ ٢٧ آب/ أغسطس ١٢٨٢، أي في الزمن الذي عاش فيه الشيرازي (المتوفى سنة ١٣١١).

مركزه الذاتي بينما يقطع أقواساً متساوية في أزمان متساوية حول مركز العالم، ومحال نقطة المحاذاة.

ويشير بعد ذلك سريعاً إلى إمكانية الرد على هذه الاعتراضات. فيقول إن أحد هذه الردود، الخاص بالاعتراض على حركة الحامل المستوية حول مركز العالم وليس حول مركزه الذاتي، هو ذلك الذي كان قد أورده في بحثه لـ «أصل الكبيرة والصغيرة» ـ وهذه إشارة واضحة إلى «مزدوجة الطوسي». وإذا نظرنا إلى وصفه لهذا الأصل، وإلى كيفية استخدامه للرد على الاعتراض الذي أثير حول الهيئة البطلمية، بدا لنا بوضوح تام أنه كان يلخص فقط الحل الذي أورده الطوسي في الفصل الحادي عشر من الكتاب الثاني من **التذكرة** الذي أشير إليه سابقاً. وحتى المصطلحات التي تم استخدامها، هي نفسها تلك التي استخدمها الطوسي، بحيث يمكن القول إن الحل الذي أورده الشيرازي في ذلك الموضع من كتاب **النهاية** هو، على أحسن تقدير، إعادة لصياغة حل الطوسي.

ويقول الشيرازي عن الاعتراض الخاص بنقطة المحاذاة إنه «محل نظر» ويؤكد أن حله صعب. ثم يقول، وبدون أن يستعيد نص الطوسي في هذا المضمار، إن الرد على هذا الاعتراض يمكن أن يتم باستخدام الأصل التاسع ـ مشيراً بذلك إلى أصل كان قد أورده سابقاً ـ الذي يسميه هنا «أصل الميل». من جهة أخرى، لا يقدم الشيرازي وصفاً كافياً لكيفية استخدام هذا الأصل لحل إشكال المحاذاة، خاصة وأنه قد طبق مبدئياً على حركات الكواكب في العرض. كذلك لا يظهر لنا بشكل واضح كيف استطاع الشيرازي أن يطبق هذا الأصل على هيئة الطوسي. ثم يتابع القول ويتعرض إلى معطيات الهيئة البطلمية التي أوجبت فرض نقطة المحاذاة.

ثم يستشهد الشيرازي، دون أي إنذار، بنص مستفيض من **كتاب الهيئة** للعرضي، ويقدمه فقط بالعبارة التالية: «قال بعض أفاضل المتأخرين من أهل الصناعة ههنا»(٤٤). يلي ذلك شرح مفصل لهيئة العرضي للقمر، ويبدو أنها كانت الهيئة المفضلة لدى الشيرازي، لأنه ينهي ذلك الفصل بما يلي: «وهذه هيئة أفلاك القمر وكمية حركاتها وكيفيتها على الوجه المختار المندفع عنه جميع الإشكالات المطابق للأصول الموافق للأرصاد. وليس فيها إلا مخالفة الجمهور، ولا تضر إذا كانت بحق. فإن الحق حبيب والمعلم حبيب، والحق أحب»(٤٥).

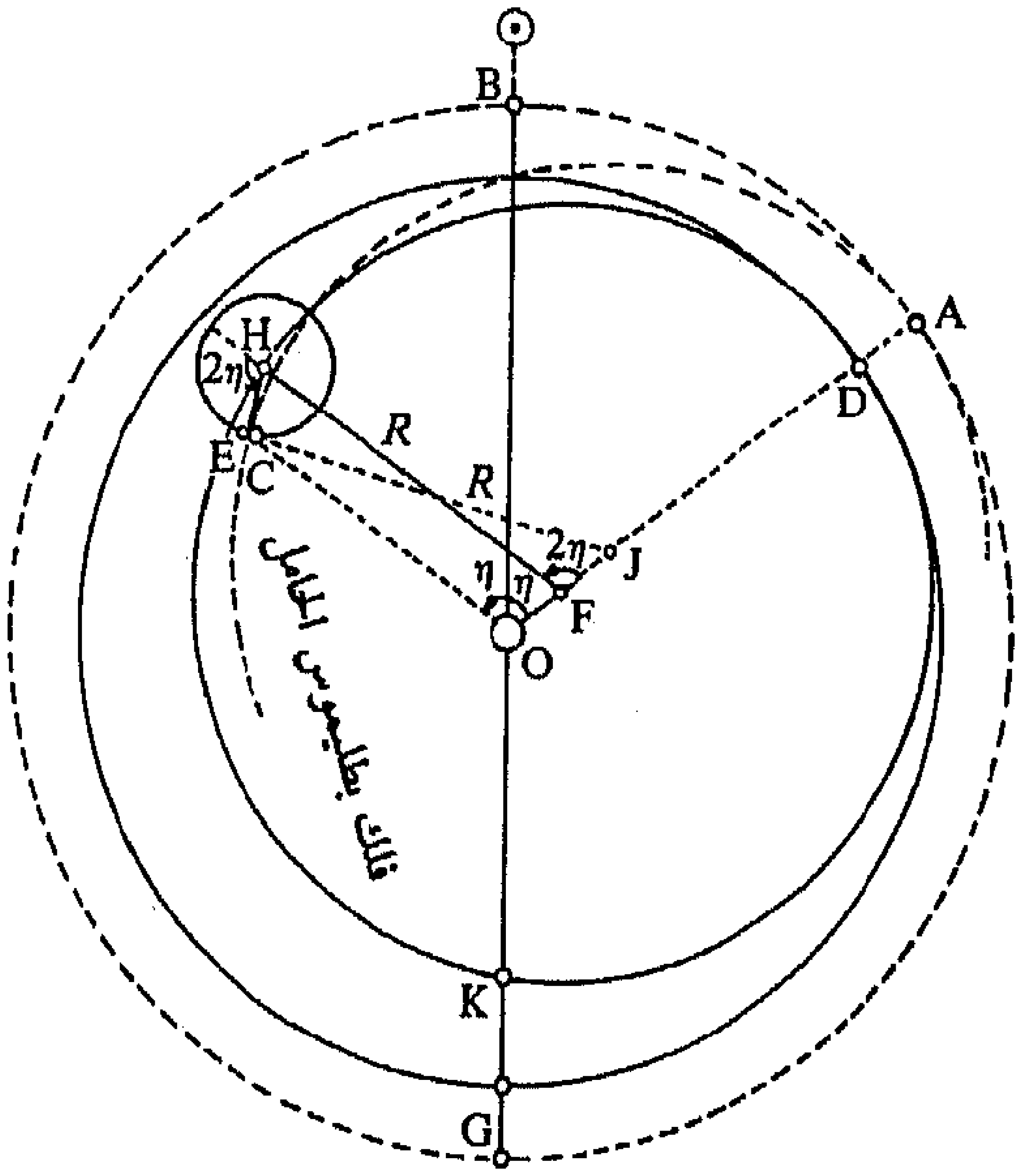
---

(٤٤) مخطوطة كوبرولو (Koprülü) رقم (٦٥٧)، الورقة ٦١ظ.

(٤٥) المصدر نفسه، الورقة ٦٦و، والجملة الأخيرة من هذا النص هي نفسها التي استشهد بها: العرضي، **تاريخ علم الفلك العربي، مؤيد الدين العرضي (المتوفى سنة ٦٦٤هـ ـ ١٢٦٦م): كتاب الهيئة**، ص١٣٦. انظر أيضاً ص ١١٨ من النص نفسه، حيث يقول العرضي أنه خالف جميع علماء الفلك في ما يتعلق باتجاهات حركات أفلاك القمر وكمياتها («خالفنا فيه جميع أصحاب علم الهيئة»). وفي مقال لاحق، سوف يبين كاتب هذه السطور بشكل دقيق، ما يدين به الشيرازي للعرضي في ما يتعلق بهيئة القمر.

والخلاصة إذاً هي أن الشيرازي الذي كان قد وعد في مقدمة **نهاية الإدراك**، أن يورد مختارات من الحلول المقترحة للرد على الإشكالات التي اعترت الهيئة البطلمية، يورد في حالة هيئة القمر حلين اثنين: أحدهما هو الحل الذي اقترحه الطوسي والذي لم يكن كافياً حسب رأيه لحل الإشكالين معاً، والآخر هو الحل الذي أتى به العرضي والذي يبدو أنه كان حل الشيرازي المفضل.

ولكن الشيرازي يعود ليعطي، في كتاب **التحفة** الذي ألفه لاحقاً، هيئة للقمر خاصة به. ترتكز هذه الهيئة على إمكانية تركيب حركتين مستويتين ينتج عنهما حركة تسمح لمركز التدوير بأن يتحرك بحركة مستوية حول مركز العالم. ويقترح الشيرازي، عوضاً عن الفلك الخارج المركز المعروف عند بطلميوس، فلكاً خارج المركز خاصاً به هو الفلك DHK (الشكل رقم (٣ ـ ١٣))، بحيث يكون خروج مركزه نصف خروج مركز فلك



الشكل رقم (٣ ـ ١٣)

بطلميوس. ثم يجعل هذا الفلك الخارج المركز الجديد يدور باتجاه التوالي وبسرعة تبلغ ضعف سرعة الفلك المائل عند بطلميوس ABG الذي كان يحرك الأوج D باتجاه خلاف التوالي. ويفرض قطب الدين، وجود فلك صغير آخر، على محيط منطقة هذا الفلك الخارج المركز، مركزه H، وقطره مساو لخروج المركز عند بطلميوس. كذلك يفرض أن يتحرك هذا الفلك الصغير بنفس حركة الفلك الخارج المركز الجديد وبنفس الاتجاه. وهذا

ما يسمح لمركز فلك التدوير E الواقع على منطقة هذا الفلك أن يقترب جداً من مركز فلك التدوير البطلمي القديم C، وأن يتحرك بحركة مستوية حول مركز العالم.

إن لهذه الهيئة الجديدة بعض الحسنات. وذلك أن المرء يستطيع بواسطتها أن يثبت أن مركز التدوير الجديد يبدو وكأنه يتحرك بحركة مستوية حول مركز العالم O، بينما هو يدور في الواقع بحركة مستوية حول النقطة H التي هي مركز حامله الصغير الخاص به. والنقطة H تتحرك بدورها بحركة مستوية حول النقطة F التي هي أيضاً مركز الحامل الخاص بالنقطة H ومركز الفلك الخارج المركز الجديد الذي اقترحه الشيرازي. ولكي يثبت أن هذه العلاقة قائمة حقاً، يستخدم الشيرازي نظرية كان قد اقترحها أولاً مؤيد الدين العرضي. وسوف نأتي على ذكر هذه النظرية فيما يلي تحت اسم «قضية العرضي». لقد مكنت هذه الهيئة الجديدة من حل الإشكال الأول الذي أثير حول حركة الفلك المستوية في هيئة بطلميوس والتي تتم حول مركز مغاير لمركز الفلك الخاص به.

إلا أن هذه الهيئة لم تحل الإشكال الثاني، وهو إشكال نقطة المحاذاة. فقد بقي الشيرازي صامتاً بخصوص هذا الإشكال، في الفصل العاشر من **التحفة**، ثم رجع إليه في نهاية الفصل الثاني عشر من الكتاب نفسه. غير أنه لم يتمكن هناك أيضاً، على ما يبدو، من إيجاد حلٍ وافٍ لهذا الإشكال الثاني. وهذا ما أكده العالم الفلكي اللاحق، عبيد الله بن مسعود بن عمر صدر الشريعة (المتوفى سنة ٧٤٧ للهجرة، الموافق سنة ١٣٤٦ ـ ١٣٤٧ للميلاد) الذي حاول أن يحل هذه المسألة بالذات في هيئة الشيرازي[٤٦]. وذلك أنه قال في معرض حديثه عن مؤلف كتاب **التحفة**: «وأما المحاذاة، فقد أطنب فيه الكلام. والظاهر أنه لا طائل تحته. ومآل كلماته أن حركة الخارج وحدها كافية في اختلاف الذروتين ولا شك أنه ليس كذلك»[٤٧]. إن العمل الموسوعي الذي قام به صدر الشريعة نفسه لم يدرس حتى الآن دراسة وافية، ولذلك لا نستطيع أن نحكم الآن بمدى نجاحه في تعديل هيئة الشيرازي. ويبدو أنه قد اقترح (انظر الشكل رقم (٣ ـ ١٤)) إضافة فلك آخر ـ نصف قطره r_1 ـ يقع على طرف نصف قطر فلك تدوير، نصف قطره الذاتي 52 ;0 جزءاً بالأجزاء التي يكون بها نصف قطر الفلك المائل ستين جزءاً. ومن المفروض أن يدور

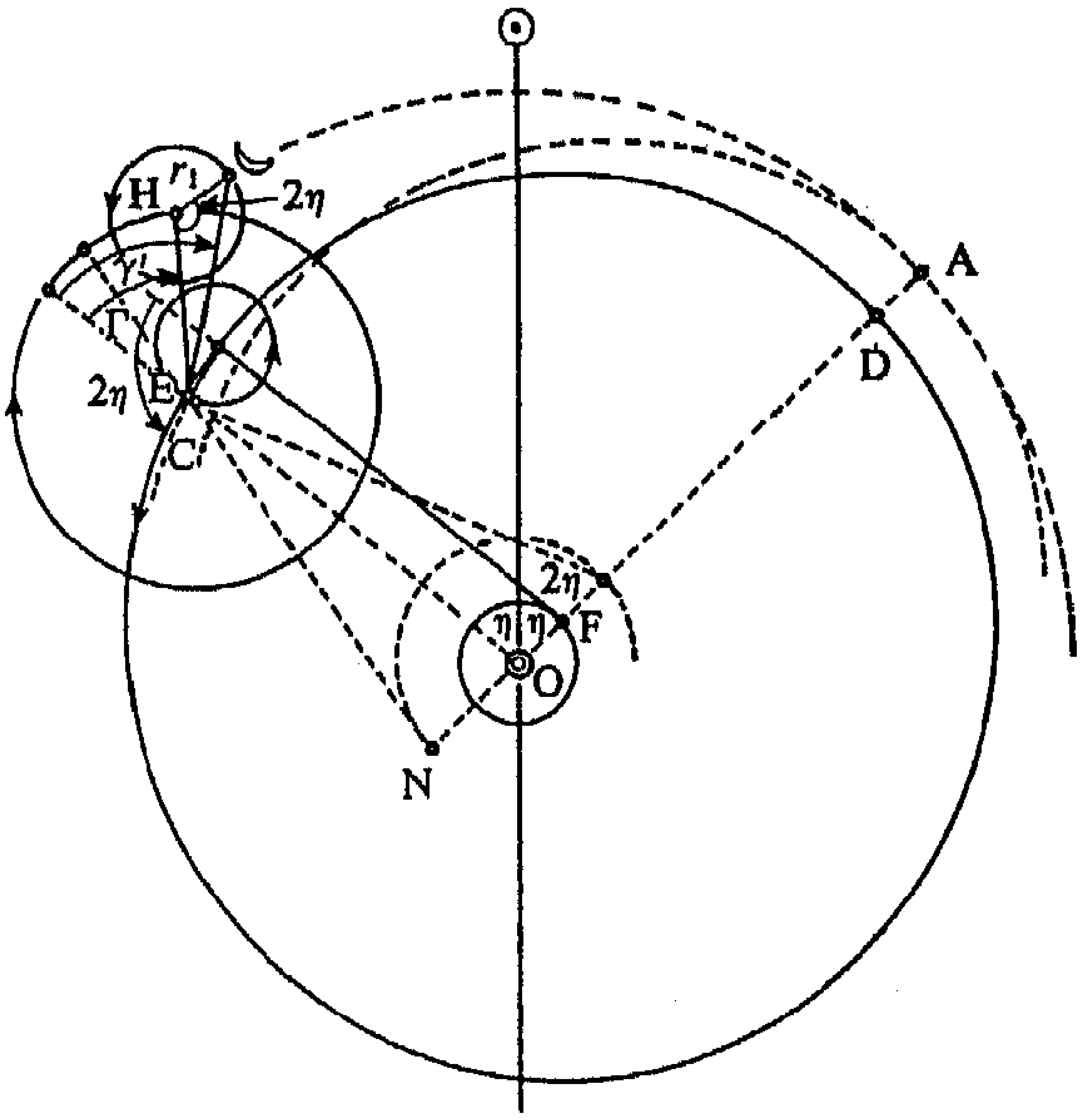
---

(٤٦) في ما يتعلق بهذا العالم الفلكي، انظر: Heinrich Suter, *Die Astronomischen Tafeln des Muhammed Ibn Mūsā al-Khwārizmī in der Bearbeitung des Maslama Ibn Ahmed al-Madjrīṭī und der latein,* Übersetzung des Athelhard von Bath auf grun der vorarbeiten von A. Bjőrnbo und R. Besthorn in Kopenhagen... hrsg und Kommentiert von H. Suter (Kobenhavn: A. F. Host and Son, 1914), p. 165, no. 404.

أما الكتاب الذي اعتمدناه في هذه الدراسة فهو كتاب **التعديل في الهيئة** لصدر الشريعة المحفوظ حالياً في المتحف البريطاني، إضافي ٧٤٨٤، الورقة ٢٧ وما بعدها، وهو جزء من كتاب **تعديل العلوم** للمؤلف نفسه.

(٤٧) المصدر نفسه.

هذا الفلك الإضافي بنفس الحركة التي يدور بها الفلك الحامل وبنفس الاتجاه، أي بالاتجاه المخالف لاتجاه فلك التدوير. وهكذا يؤدي هذا المتجه الصغير إلى زيادة الاختلاف بمقدار يتناسب مع المعادلة الأولى في المواضع المتوسطة بين الاجتماع والاستقبال من جهة والتربيع من جهة أخرى، ويبقيه على حاله، أي يكون ذا قيمة تعديلية تساوي الصفر، في مواضع الاجتماع والاستقبال والتربيع. ويسمح فلك التدوير الصغير هذا بزيادة نصف قطر فلك التدوير ليبدو أكبر أثناء التربيعات، وأصغر أثناء الاجتماع والاستقبال، وفقاً للأرصاد البطلمية.

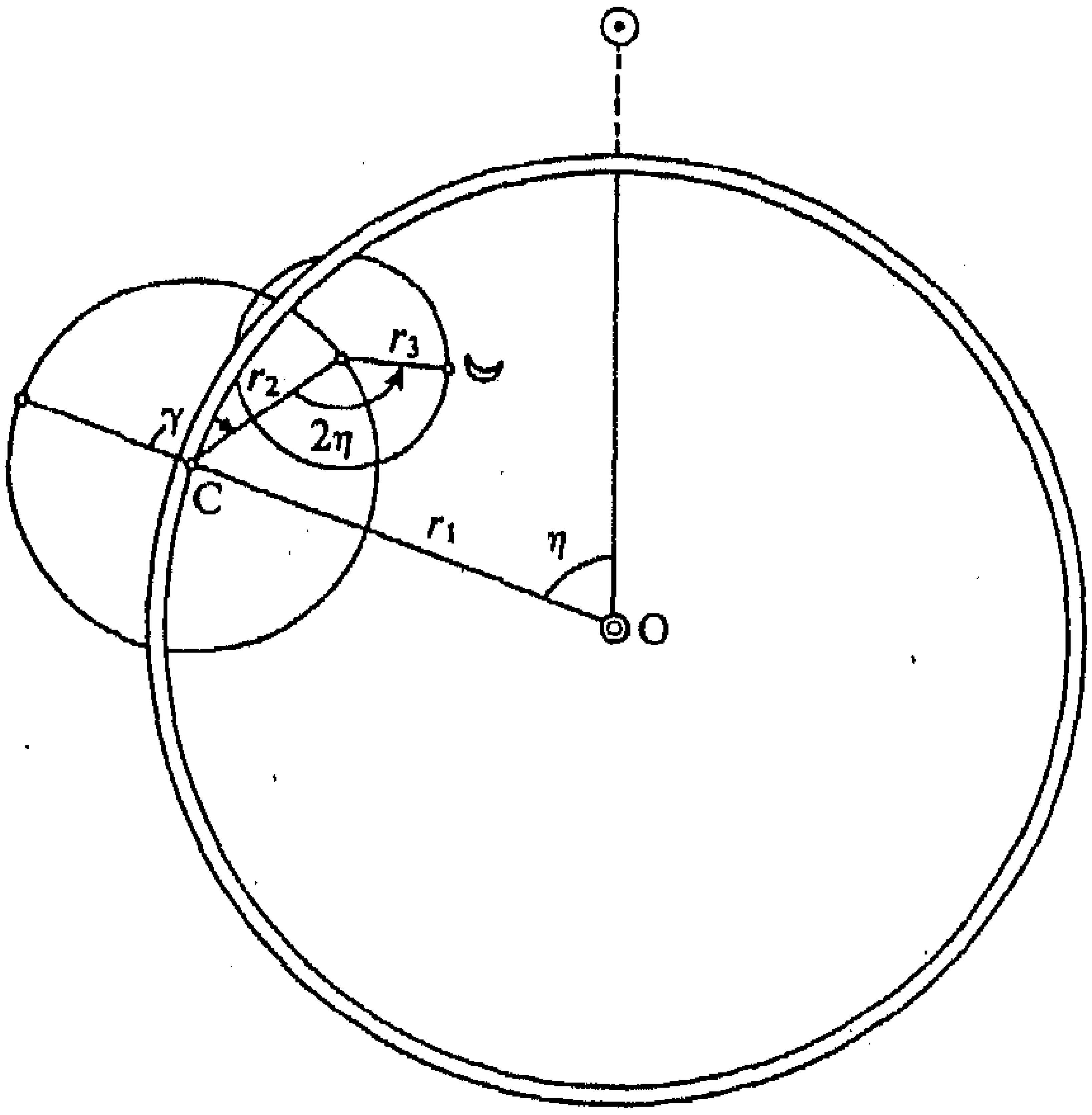


الشكل رقم (٣ ـ ١٤)

أما عالم الفلك الدمشقي، ابن الشاطر (المتوفى سنة ١٣٧٥م)، الذي كان معاصراً لصدر الشريعة، والذي كان أكثر منه شهرة وأكثر نجاحاً، فقد اقترح عدة هيئات جديدة لا تشوبها نفس الشوائب التي ألمّت بها الهيئة البطلمية، وكانت هذه الهيئات في بعض الأحيان قريبة جداً ـ بل حتى مطابقة كما في هيئة القمر هذه ـ للهيئة التي ارتآها كوبرنيكوس بعد قرنين من الزمن.

(٤) هيئة القمر لابن الشاطر[٤٨]

إن المنهج الذي سلكه ابن الشاطر في هيئة القمر، وفي هيئات الكواكب الأخرى يتمحور حول اهتمامه الدائب في الاستغناء المطلق عن الأفلاك الخارجة المراكز. ونتيجة لهذا المنهج، لم يقبل الآلية التي اقترحها بطلميوس، لأنها السبب المستبب لتلك الإشكالات في الدرجة الأولى، على الرغم من أنها تسمح بتفسير الاختلاف الحاصل في معادلة القمر حين انتقاله من الاجتماع أو الاستقبال بالنسبة الى الشمس إلى التربيع معها.



الشكل رقم (٣ ـ ١٥)

وقد اقترح ابن الشاطر هيئة جديدة لحل إشكالات القمر. تشتمل هيئة القمر هذه (انظر الشكل رقم (٣ ـ ١٥)) المرسومة بنسب غير حقيقية، الأفلاك التالية:

ـ الفلك الممثل الموافق المركز بالنسبة الى فلك البروج، والذي ينطبق مركزه بالطبع على مركز العالم O، نصف قطره تسعة وستون جزءاً[٤٩].

(٤٨) انـــظـــر: Victor Roberts, «The Solar and Lunar Theory of Ibn ash-Shāṭir: A Pre - Copernican Copernican Model,» *Isis*, vol. 48, no. 154 (December 1957), pp. 428 - 432, وخصوصاً ص ٤٣٠ ـ ٤٣٢ حيث يوجد عرض مختصر لهذه الهيئة.

(٤٩) في النسخة الأولى من كتاب **نهاية السول في تصحيح الأصول** حيث اقترح ابن الشاطر هيئته الجديدة للمرة الأولى، يساوي نصف قطر هذا الفلك ٦٧ جزءاً.

ـ الفلك المائل الذي يكون ميل منطقته بالنسبة الى منطقة الفلك الممثل ثابتاً وقيمة ميله لا تتعدى خمس درجات. وينطبق مركز هذا الفلك مع مركز العالم O الذي هو أيضاً مركز الممثل، ويكون نصف قطره r_1 ستين جزءاً. أما منطقة هذا الفلك فتقطع منطقة الفلك الممثل على نقطتين تسميان بالعقدتين. ونصف قطر السطح المقعر لهذا الفلك يبلغ واحداً وخمسين جزءاً(٥٠).

ـ الفلك الثالث الذي يبلغ نصف قطره $r_2 = 8; 16, 27$ (ثمانية أجزاء وست عشرة دقيقة وسبعاً وعشرين ثانية)(٥١) يفترض مغرقاً في الفلك المائل ويسمى كرة التدوير(٥٢).

ـ والفلك الرابع الذي يبلغ نصف قطره $r_3 = 1; 41, 27$ يفترض مغرقاً في فلك التدوير، ويسمى بالفلك المدير. أما القمر فيكون مغرقاً في الفلك المدير ونصف قطره يساوي 0; 32, 54 جزءاً.

ولما كان الفلك الرابع مغرقاً في الفلك الثالث، وكان نصف قطر القمر المغرق في الفلك الرابع مساوياً لـ 0; 16, 27 جزءاً، تحصل المقادير التالية عند تمثيل هذه الهيئة بالدوائر البسيطة: يكون نصف قطر الدائرة الثالثة 6; 35 جزءاً، ونصف قطر الدائرة الرابعة 1; 25 جزءاً، ويكون نصف قطر القمر 0; 16, 27 جزءاً.

أما حركات هذه الأفلاك فهي كما يلي:

ـ يتحرك الفلك الممثل حول مركز العالم باتجاه مخالف لتوالي البروج بسرعة تساوي سرعة العقدتين، وهي 0; 3, 10, 38, 27 درجة في اليوم. ولأن هذا الفلك يحمل جميع أفلاك القمر الباقية فهو طبعاً يحركها بحركته.

ـ يتحرك الفلك المائل حول مركز العالم كالفلك الأول، ولكن باتجاه توالي البروج، وبسرعة قدرها 13; 13, 45, 39, 40، وهي تعادل مجموع سرعة القمر الوسطى في الطول وسرعة العقدتين. نتيجة لذلك يتحرك مركز تدوير القمر باتجاه توالي البروج بحركة تعادل حركة القمر الوسطى في الطول، وهي 13; 10, 35, 1, 13.

ـ أما الحركة الثالثة، وهي 13; 3, 53, 46, 18 درجة في اليوم، فهي حركة فلك التدوير الذي يدور حول مركزه الخاص به، وهي باتجاه خلاف توالي البروج في القسم الأعلى من التدوير. وكانت هذه الحركة تسمى سابقاً حركة القمر الخاصة، وكان مبدأها من ذروة التدوير المرئية.

(٥٠) لم يرد هذا القياس في النسخة الأولى من نهاية السول في تصحيح الأصول.

(٥١) هذه المقادير أيضاً لم ترد في النسخة الأولى من نهاية السول في تصحيح الأصول.

(٥٢) يضيف في النسخة الأولى من نهاية السول في تصحيح الأصول ملاحظة مفادها أنه يجب ألا يخلط بين فلك التدوير هذا وذلك الذي اشتهر بهذا الاسم لأنهما مختلفان.

ـ الحركة الرابعة، التي تحرك معها القمر على منطقة الفلك المائل، هي حركة المدير، وهي حركة بسيطة باتجاه توالي البروج حول مركز المدير ذاته، وتعادل 23 ,53 ,22 ;24 درجة في اليوم، وهذا ما يساوي أيضاً ضعف البعد بين موضعي القمر والشمس الأوسطين.

إن هذه الهيئة ترد على الإشكالين اللذين أثيرا على هيئة بطلميوس، لأنها تسمح بتعليل جميع الاختلافات المرصودة للقمر، بينما تكون تلك الحركات جميعها ناتجة عن حركات أفلاك حول مراكزها الخاصة بها. فعندما يكون القمر في حالة الاجتماع مع الشمس (الشكل رقم (٣ ـ ١٥))، تكون جميع المراكز على الخط المستقيم المار بالشمس، أو كما يفضل ابن الشاطر أن يقول، تكون جميعها على الخط المستقيم المار بمركز العالم وبتلك النقطة المتوهم ثباتها من فلك البروج، أي نقطة الأوج. وعندما يتحرك الفلك المائل، باتجاه توالي البروج، يتحرك فلك التدوير بالاتجاه المعاكس. وهكذا تتلاءم هاتان الحركتان مع ظاهرة بعد القمر وحركته الخاصة. أما ظاهرة التفاوت فيمكن تعليلها بحركة المدير الذي يتحرك بضعف حركة الفلك المائل، ويحمل القمر إلى حضيض المدير، أي باتجاه الأرض، وهو اتجاه الأوج عندما يكون القمر في الاجتماع مع الشمس، وإلى أوج المدير عندما يكون القمر في التربيع مع الشمس. وهذا ما يسمح لتعديل القمر بأن يزداد من 10 ;5، وهو القدر الذي رصده بطلميوس أثناء الاجتماع (وهو 56 ;4 حسب رصد ابن الشاطر)، إلى أن يبلغ غايته القصوى 40 ;7 أثناء التربيع.

ولكن الأهم من ذلك هو أن هذه الهيئة تسمح لمسافة القمر من الأرض بأن تتغير بين حدّي 10 ;5 ,1 جزءاً و50 ;54 جزءاً عندما يكون القمر في الاجتماع والاستقبال، وبين 0 ;8 ,1 جزءاً و0 ;52 جزءاً عندما يكون في التربيع، بنفس الأجزاء التي يكون بها نصف قطر الفلك المائل 60 جزءاً. لذلك تكون هذه الهيئة قد حققت تقدماً هائلاً بالنسبة الى هيئة بطلميوس. ففي هيئة بطلميوس كان يسمح للقمر بأن يقترب من الأرض إلى أن يصل إلى 34 ;7 جزءاً، مما يجعل القمر أثناء التربيعات يبدو للراصد على الأرض وكأنه ضعف حجمه أثناء الاجتماع والاستقبال. وذلك مخالف للرصد. إن هذه النتيجة هي التي أثارت، على الأرجح، اهتمام كوبرنيكوس بهيئة ابن الشاطر، لأنه استخدم نفس المقادير ونفس الهيئة في كتابه *De Revolutionibus*، بينما مر ذكرها بشكل عابر في كتاب ابن الشاطر الذي كان يعرف حق المعرفة تفوق الهيئة التي ابتكرها[٥٣].

ج ـ هيئة الكواكب العليا

إن هيئة بطلميوس للكواكب العليا، التي جاء وصفها سابقاً (الشكل رقم (٣ ـ ٣))، تتضمن إشكالاً واحداً أساسياً، وهو إشكال معدل المسير. وباختصار، فإن هذا الإشكال

(٥٣) ابن الشاطر، نهاية السول في تصحيح الأصول، الورقة ٣ظ.

يحصل مبدئياً عندما يفترض أن هناك فلكاً يتحرك بحركة مستوية حول محور لا يمر بمركزه الخاص. وهذا يستحيل طبعاً إذا ما اعتبر الفلك جسماً طبيعياً حقاً كما هو المفروض. وقد اقترح علماء الفلك العرب عدة هيئات حاولوا بواسطتها أن يتحاشوا إشكال معدل المسير هذا الذي تضمنته هيئة بطلميوس[٥٤].

(١) أبو عبيد الجوزجاني (المتوفى حوالى سنة ١٠٧٠م)

إن ما نعرفه حتى الآن هو أن أبا عبيد الجوزجاني، تلميذ ابن سينا ومعاونه، كان أول فلكي فيلسوف خلف لنا رسالة حاول فيها إصلاح هيئة بطلميوس بتقديم حل لإشكال معدل المسير[٥٥]. وفي تلك الرسالة ينبئنا أن ابن سينا كان يدعي - كذباً على الأرجح - بأنه قد توصل هو أيضاً إلى حل ذلك الإشكال، ولكنه كان يأبى أن يخبر تلميذه به توخياً منه أن يحث الطالب على الوصول إلى ذلك الحل بنفسه. وبمزيج من السخرية والظرف يتابع أبو عبيد كلامه قائلاً: «وأظن أني ما سبقت إلى معرفة هذه المسائل»[٥٦].

نجد في الشكل رقم (٣ - ١٦) موجزاً لحل الجوزجاني لمسألة معدل المسير. ويظهر جلياً أنه كان يظن أن باستطاعته أن يستبدل فلك الحامل في هيئة بطلميوس بفلك معدل المسير نفسه - الممثل هنا بخط متقطع - مما يؤدي إلى نقل حركة فلك التدوير من النقطة H على الفلك الحامل إلى النقطة B المحمولة الآن على فلك تدوير إضافي، نصف قطره e مساو لخروج مركز الكوكب عند بطلميوس. فمن الحسنات الواضحة لهذه الهيئة أنها تسمح لفلك التدوير B أن يتحرك بحركة مستوية حول النقطة H، بينما تتحرك H نفسها بحركة مستوية أيضاً حول T، وتتلاءم بذلك مع متطلبات الحركة المستوية المفروضة. بالإضافة إلى ذلك، إذا جعلنا فلك التدوير الثانوي، الذي مركزه H، يتحرك بنفس حركة الفلك الحامل عند بطلميوس، ولكن بالاتجاه المعاكس، عندها تبدو النقطة B مركز فلك تدوير الكوكب وكأنها تتحرك بحركة مستوية حول معدل المسير D. وهذا ما يتفق مع نتائج الأرصاد.

كان من الممكن أن يكون كل ذلك مقبولاً لو لم تكن المسافة بين النقطة B، مركز فلك تدوير الكوكب، وبين الراصد على نقطة Q هي أيضاً ناتجة عن الأرصاد، ولا يمكن تغييرها

---

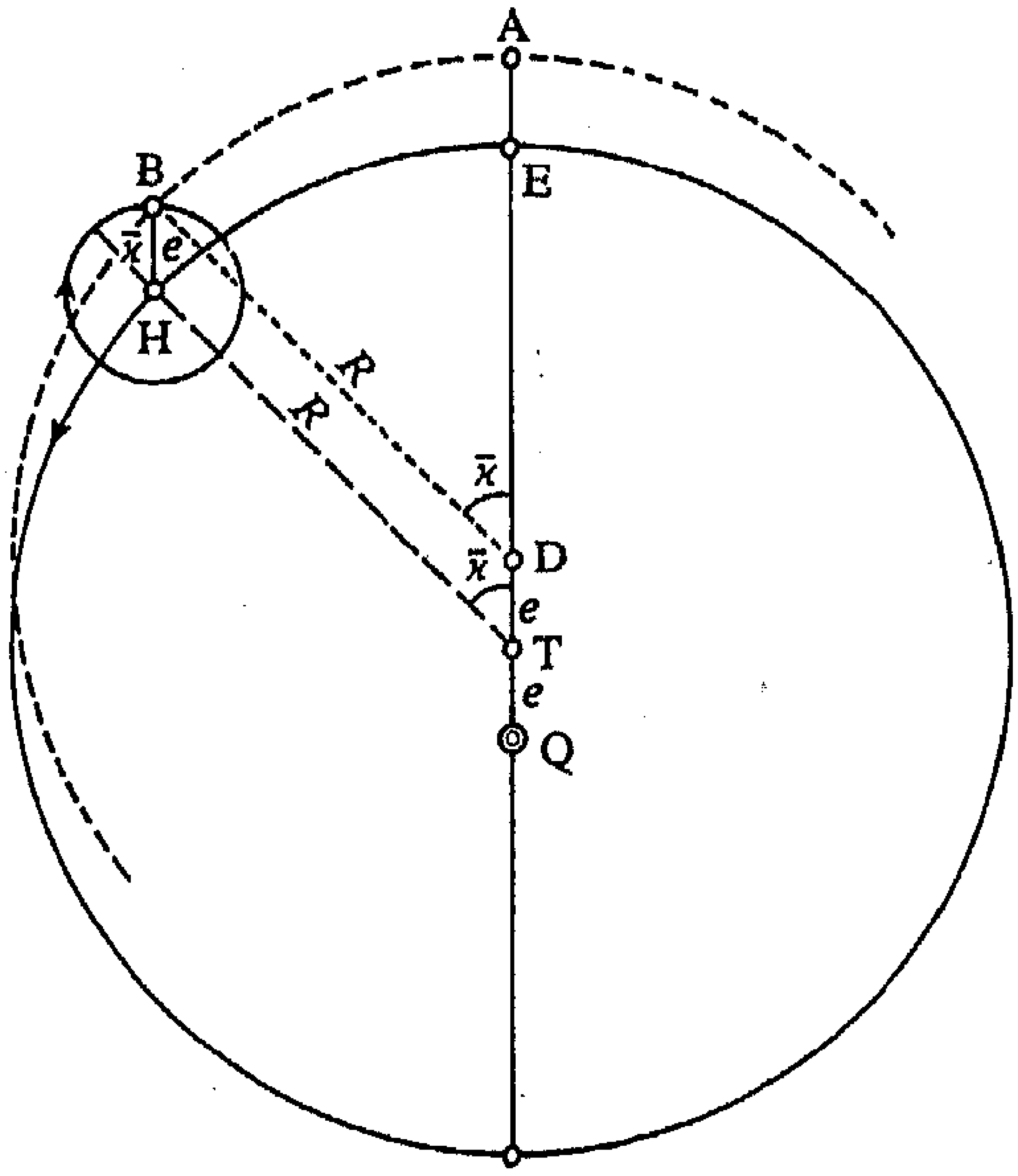
(٥٤) توجد دراسة شاملة لهذا الموضوع في: George Saliba, «Arabic Astronomy and Copernicus,» *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften,* Bd. 1 (1984), pp. 73 - 87,

والباقي من هذا القسم مأخوذ بمعظمه من هذا المقال.

(٥٥) انظر: George Saliba, «Ibn Sīnā and Abū 'Ubayd al-Jūzjānī: The Problem of the Ptolemaic Equant,» *Journal for the History of Arabic Science,* vol. 4, no. 2 (Fall 1980), pp. 376 - 403.

(٥٦) انظر: المصدر نفسه، ص ٣٨٠.

بسهولة. فالحسابات الطويلة والشاقة، الواردة في المقالة العاشرة من كتاب المجسطي، أقيمت خصيصاً من أجل تحديد الأبعاد النسبية في هيئة كل كوكب على حدة، وذلك لجعلها تتلاءم مع نتائج الأرصاد التي سعى بطلميوس بعناء كبير الى أن يحافظ عليها.



الشكل رقم (٣ ـ ١٦)

زد على ذلك أن هيئة الجوزجاني لو كانت قابلة للتطبيق لكان بطلميوس أول من تبناها. وذلك لأنها تبدو فقط وكأنها تعوض عن الفلك الخارج المركز، أي الفلك الحامل، بفلك مطابق للمركز مضاف إلى فلك تدوير ثانوي. هذه المعادلة كانت معروفة جيداً لدى بطلميوس. فهو الذي نسبها إلى أبولونيوس، في الفصل الأول من المقالة الثانية عشرة من المجسطي. وكان أيضاً قد استخدمها في الفصل الثالث من المقالة الثالثة، وفي الفصل السادس من المقالة الرابعة، من نفس الكتاب(٥٧). فمن السذاجة أن يعتقد المرء، كما ظن الجوزجاني، أنه يستطيع حل المشاكل الرصدية المتعلقة بمعدل المسير، بإبدال الفلك الخارج المركز بفلك التدوير.

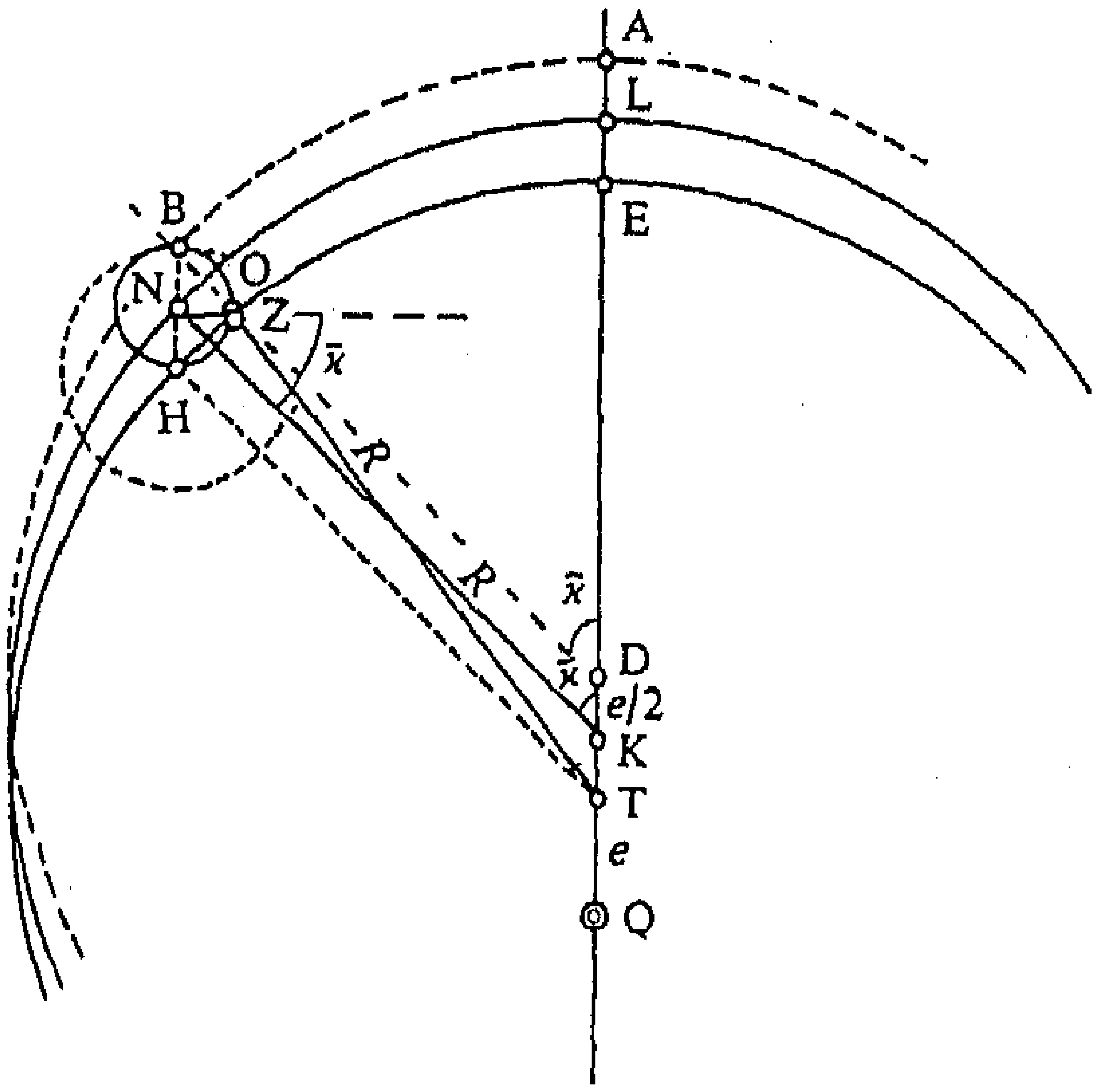
فالمشكلة إذاً ما زالت دون حل، وهي مشكلة إيجاد هيئة تحافظ في آن واحد على أبعاد

(٥٧) انظر: Neugebauer, «The Equivalence of Eccentric and Epicyclic Motion According to Apollonius,» pp. 5 - 21.

الفلك الحامل عند بطلميوس، وعلى تأثير معدل المسير، وتكون ناتجة عن حركات مستوية لأفلاك تدور حول مراكزها الخاصة بها.

(٢) مؤيد الدين العرضي[٥٨]

المشكلة كما رآها العرضي تكمن في كيفية نقل النقطة B (الشكل رقم (٣ ـ ١٧)) في هيئة الجوزجاني لتقترب قدر المستطاع من نقطة Z، أو لتتطابق معها إذا أمكن، علماً بأن ذلك قد يتم باستخدام معادلة أبولونيوس التي ذكرناها سابقاً، والتي تسمح بنقل حركة تحصل على فلك خارج المركز إلى حركة على فلك تدوير محمول على فلك موافق للمركز.



الشكل رقم (٣ ـ ١٧)

وهذا لا يعني بالضرورة أن العرضي قد حاول مباشرة إصلاح هيئة الجوزجاني، لأنه لم يذكر الجوزجاني على الإطلاق، بل قد يعني أنه استخدم مباشرة معادلة أبولونيوس. ولكنه توصل إلى فكرة عبقرية وهي أن ليس عليه أن ينقل مقدار خروج المركز بكامله TD = BH إلى فلك التدوير الثانوي، بل ان ينقل مقدار KD = NB الذي هو نصف ذلك فقط. ولكي يتم له

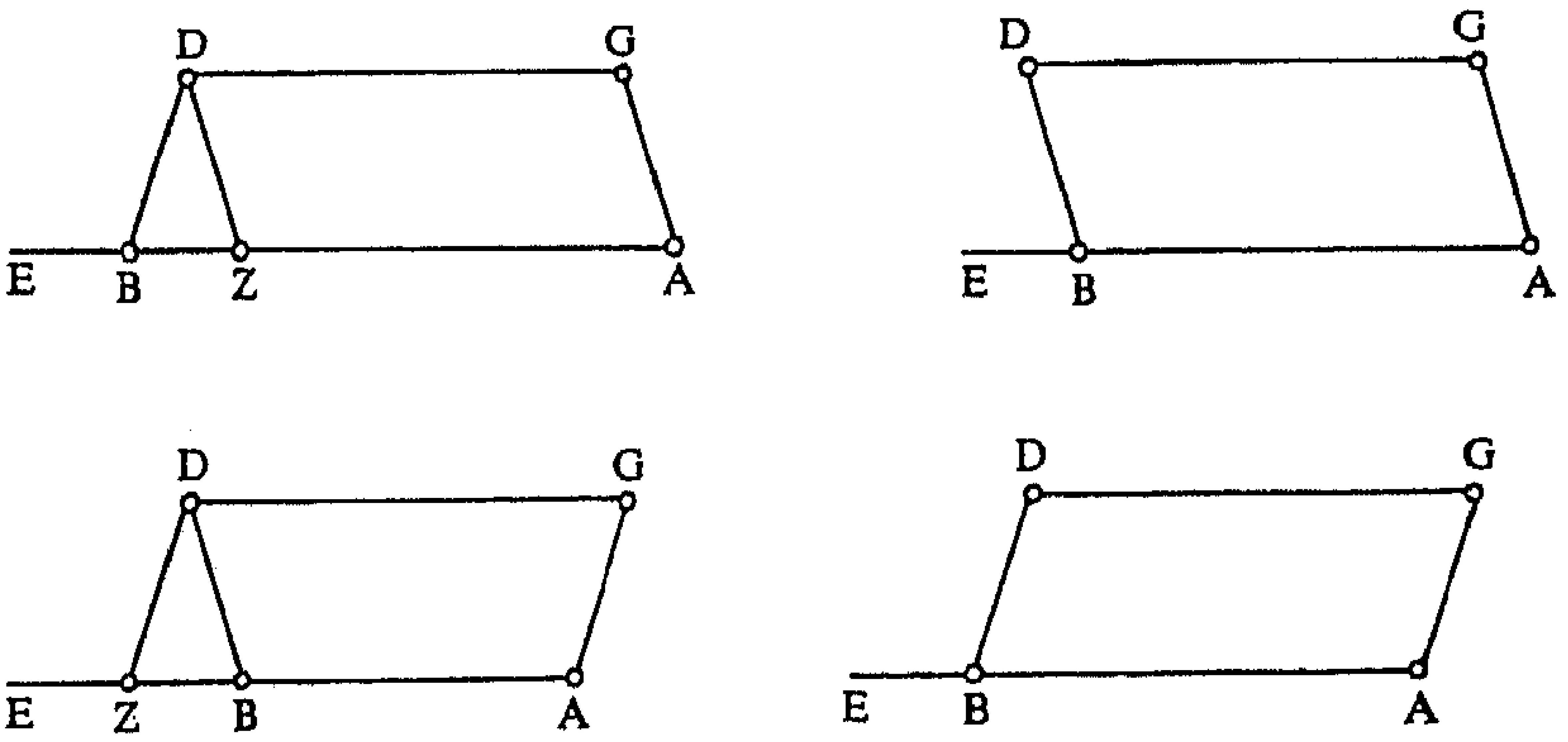
(٥٨) للاطلاع على أعمال هذا المؤلف المحققة، انظر: العرضي، تاريخ علم الفلك العربي، مؤيد الدين العرضي (المتوفى سنة ٦٦٤هـ ـ ١٢٦٦م): كتاب الهيئة، و Saliba, «The First Non - Ptolemaic Astronomy at the Maraghah School,» pp. 571 - 576.

ذلك وليقترب قدر المستطاع من الفلك الحامل في هيئة بطلميوس وجد العرضي أن على فلك التدوير الصغير BOH أن يتحرك بنفس الاتجاه وبنفس القدر الذي يتحرك به الفلك الحامل الجديد، ذو المركز K، الذي تبناه العرضي لتوه. فمن الحركة المركبة من حركة الفلك الحامل الجديد، ذي المركز K، وحركة فلك التدوير الصغير ذي المركز N، يحدث مسار ترسمه النقطة O التي تبقى دوماً ملاصقة جداً لفلك الحامل عند بطلميوس الذي هو EZH. وقد استخدم هذه الطريقة بشكل أو بآخر، بعد اكتشاف العرضي لها، جميع علماء الفلك اللاحقين الذين حاولوا إصلاح هيئة بطلميوس.

وكان على العرضي، لكي يُبقي على تأثير معدل المسير، أن يبين أن المسار النهائي للنقطة O يظهر وكأنه يتم بحركة مستوية حول نقطة معدل المسير D. فكان عليه أن يبرهن أن الخطين OD وNK يبقيان بفضل الشروط المفروضة ـ وهي أن تكون حركة الفلك الصغير مساوية قدراً واتجاهاً لحركة الفلك الحامل المقترح ـ دائماً متوازيين.

ولكي يصل إلى ذلك الهدف، وضع العرضي المسألة على شكل قضية تمهيدية عامة كما يلي: «إن كل خط مستقيم نقيم عليه خطين مستقيمين متساويين في جهة واحدة، فيصيران زاويتين من الزوايا التي تحدث مع الخط، إما الداخلة مع الخارجة، وإما الداخلتين اللتين في جهة واحدة، متساويتين، ثم يوصل بين طرفيهما بخط مستقيم، فإنه يكون موازياً للخط الذي قاما عليه»(٥٩).

الشكل رقم (٣ ـ ١٨) مأخوذ من نص العرضي الذي يبين فيه أن الخط GD يكون



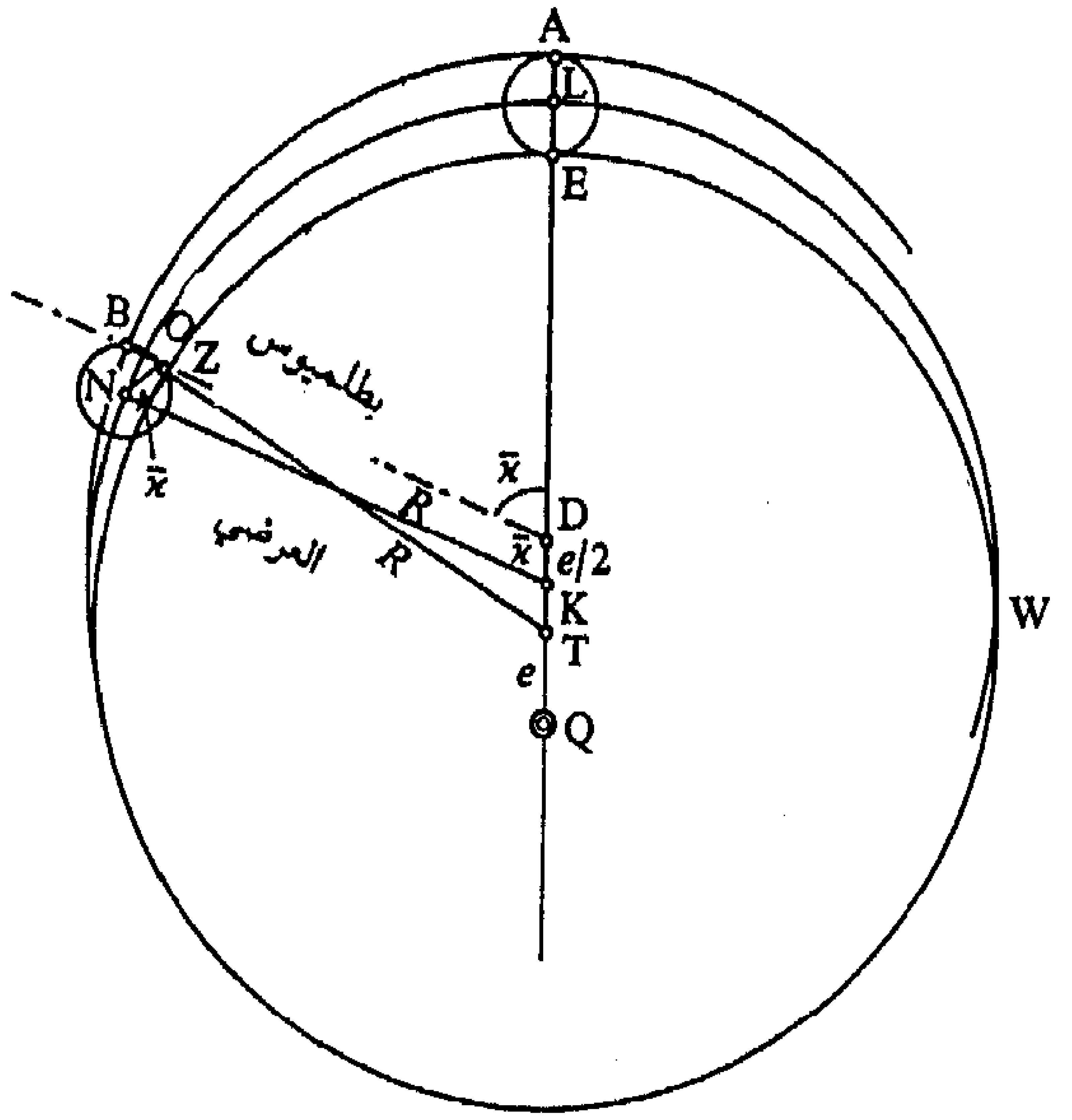
الشكل رقم (٣ ـ ١٨)

---

(٥٩) انظر: العرضي، المصدر نفسه، ص ٢٢٠ خصوصاً.

دائماً موازياً للخط AB في جميع الحالات التي يشكل فيها الخطان AG وBD زاويتين متساويتين مع الخط AB. فإذا فرضنا أن AG = BD يصبح البرهان فورياً إذا كانت الزاويتان الخارجة DBE والداخلة GAB متساويتين، أو إذا كانت الزاويتان الداخلتان DBA وGAB متساويتين. وذلك لأن رسم الخط DZ الموازي للخط AG يؤدي إلى تطابق كلتا الحالتين، فيتم البرهان عليهما باستخدام الأشكال من رقم ٢٧ إلى ٣٣ من المقالة الأولى من كتاب **الأصول** لإقليدس.

فبعد أن نبين أن الخط OD (الشكل رقم (٣ ـ ١٩)) يكون دائماً موازياً للخط NK،



الشكل رقم (٣ ـ ١٩)

يمكن أخذ النقطة O لتكون مركزاً لفلك تدوير الكوكب، مما يؤدي إلى الاقتراب جداً من الشروط التي فرضها بطلميوس. وكان العرضي مدركاً تمام الإدراك أن المسار الذي تحدثه النقطة O لا ينطبق تماماً على الفلك الحامل عند بطلميوس إلا في الأوج E وفي الحضيض المقابل له. ويجدر بنا أن نستشهد بما قاله في هذا المضمار: «وأما مركز التدوير ـ أعني نقطة المماسة المذكورة [O في الشكل رقم (٣ ـ ١٩)] ـ فقد يخال أنه محمول على الدائرة التي مركزها أقرب من النقطة التي عليها البصر من أجل أن مركز التدوير يكون على هذه الدائرة في بعديه المختلفين ـ أعني أعظم أبعاده من البصر وأقربها منه، وكونه قريباً من محيطها في باقي دورته جداً، فلذلك ظن بطلميوس أن مركز التدوير لازم لمحيطها، وأنه

يرسمها بحركته»[٦٠].

وبدلاً من أن يحسب العرضي الاختلاف بين المسار الناتج عن هيئته والفلك الحامل في هيئة بطلميوس، الذي هو في الحقيقة صغير جداً[٦١]، يفترض العرضي بكل ثقة أن الهيئة التي ارتآها هو هي الهيئة الصحيحة، وأن برهان عكس ذلك يقع على عاتق بطلميوس لأنه هو الذي توهم خطأ أن المسار يتم على دائرة الفلك الحامل. وقد عبر ماستلين (Maestlin) عن نفس هذا الشعور عندما شرح هذه النقطة بالذات في هيئة كوبرنيكوس لتلميذه كبلر (Képler) بعد مضي حوالى ثلاثة قرون: «لأن كوبرنيكوس يبين (V,4) أن المسار ليس دائرياً تماماً... وأن بطلميوس كان يتوهم أن مسار الكوكب... دائري حقاً»[٦٢]. ومن المهم أن نلاحظ أيضاً أن ماستلين قد برهن هو الآخر حالة خاصة من القضية التي صاغها وبرهنها العرضي، دون أن يثبتها بشكل عام[٦٣].

أما كوبرنيكوس فيورد نفس هذه القضية (V, 4) على النحو التالي: «وهكذا سنبرهن أيضاً أن الكوكب، نتيجة لهذه الحركة المركبة لا يرسم دائرة تامة وفقاً لنظرية الرياضيين القدامى، بل خطاً منحنياً لا يكاد يتميز عن الدائرة»[٦٤].

هكذا نرى أن العرضي وكوبرنيكوس قبلا بهذه الطريقة الجديدة التي يتم بها قسمة خروج المركز عند بطلميوس إلى قسمين متساويين، لأنها سمحت لهما بأن يبقيا على فلك بطلميوس الحامل، وأن يحتفظا بمفعول معدل المسير، كما سمحت لهما بوصف جميع الحركات الواردة في هيئتيهما كحركات مستوية لأفلاك تدور حول مراكزها الخاصة بها، فتجنبا بذلك التناقضات الظاهرة في هيئة بطلميوس. ولكي نتفهم جيداً العلاقة بين هيئة العرضي وهيئة كوبرنيكوس للكواكب العليا، يجب أن نتحرى أولاً الهيئات التي استحدثها، خلال الفترة الزمنية الفاصلة بينهما، كل من قطب الدين الشيرازي (المتوفى سنة

---

(٦٠) انظر: المصدر نفسه، ص ٢٢٢ ـ ٢٢٣.

(٦١) من أجل تحديد الاختلاف الأعظم بين هذين المسارين، انظر: Noël M. Swerdlow, «The Derivation and First Draft of Copernicus's Planetary Theory: A Translation of the *Commentariolus* with Commentary,» *Proceedings of the American Philosophical Society*, vol. 117, no. 6 (December 1973), pp. 423 - 512 and especially p. 469.

(٦٢) انظر: Anthony Grafton, «Michael Maestlin's Account of Copernican Planetary Theory,» *Proceedings of the American Philosophical Society*, vol. 117, no. 6 (December 1973), pp. 523 - 550 and especially p. 526.

(٦٣) انظر: المصدر نفسه، ص ٥٢٨.

(٦٤) انظر: Copernicus, *De Revolutionibus*, translated by Charles Glenn Wallis (Chicago, Ill.: [n. pb.], 1952), p. 743.

١٣١١م) وصدر الشريعة (المتوفى سنة ١٣٤٦/١٣٤٧م) وابن الشاطر الدمشقي (المتوفى سنة ١٣٧٥م).

لقد بيّنا في مقال سابق أن الهيئة التي فضلها الشيرازي كانت مطابقة في الحقيقة لهيئة العرضي[٦٥]، وكانت هي أيضاً الهيئة المعتمدة لدى صدر الشريعة. وهكذا تكون هيئة العرضي كافية تماماً، بالنسبة الى هذين الفلكيين، لحل التناقضات التي تضمنتها الهيئة البطلمية. أما بالنسبة الى ابن الشاطر، فإن الاعتراض الأساسي كان يدور حول قضية الأفلاك الخارجة المراكز. وكما فعل في الهيئة التي ارتآها للقمر، فإنه تمكن هنا أيضاً من إيجاد هيئة تكون مراكز أفلاكها موافقة لمركز الأرض، وتتضمن هيئة العرضي، كما سنرى.

(٣) هيئة ابن الشاطر للكواكب

سنورد فيما يلي النص القصير الكامل لهيئة ابن الشاطر لكوكب زحل. وذلك نظراً للأهمية التاريخية للهيئة التي ابتكرها ابن الشاطر، ولعلاقتها المحتملة بأعمال كوبرنيكوس. والنص مأخوذ من كتاب **نهاية السول** الذي قام بتحقيقه كاتب هذه السطور، والذي لم ينشر بعد. ولا يختلف هذا النص عن ذلك الذي يصف فيه ابن الشاطر هيئة كل من كواكب المشتري والمريخ والزهرة إلا في الأبعاد الحقيقية لكل منها. فالعلاقات العامة التي تعم جميع هيئات الكواكب العليا تم تلخيصها في الشكل رقم (٣ ـ ٢٠).

يبدأ الباب الثاني عشر، من كتاب **نهاية السول** لابن الشاطر، على النحو التالي:

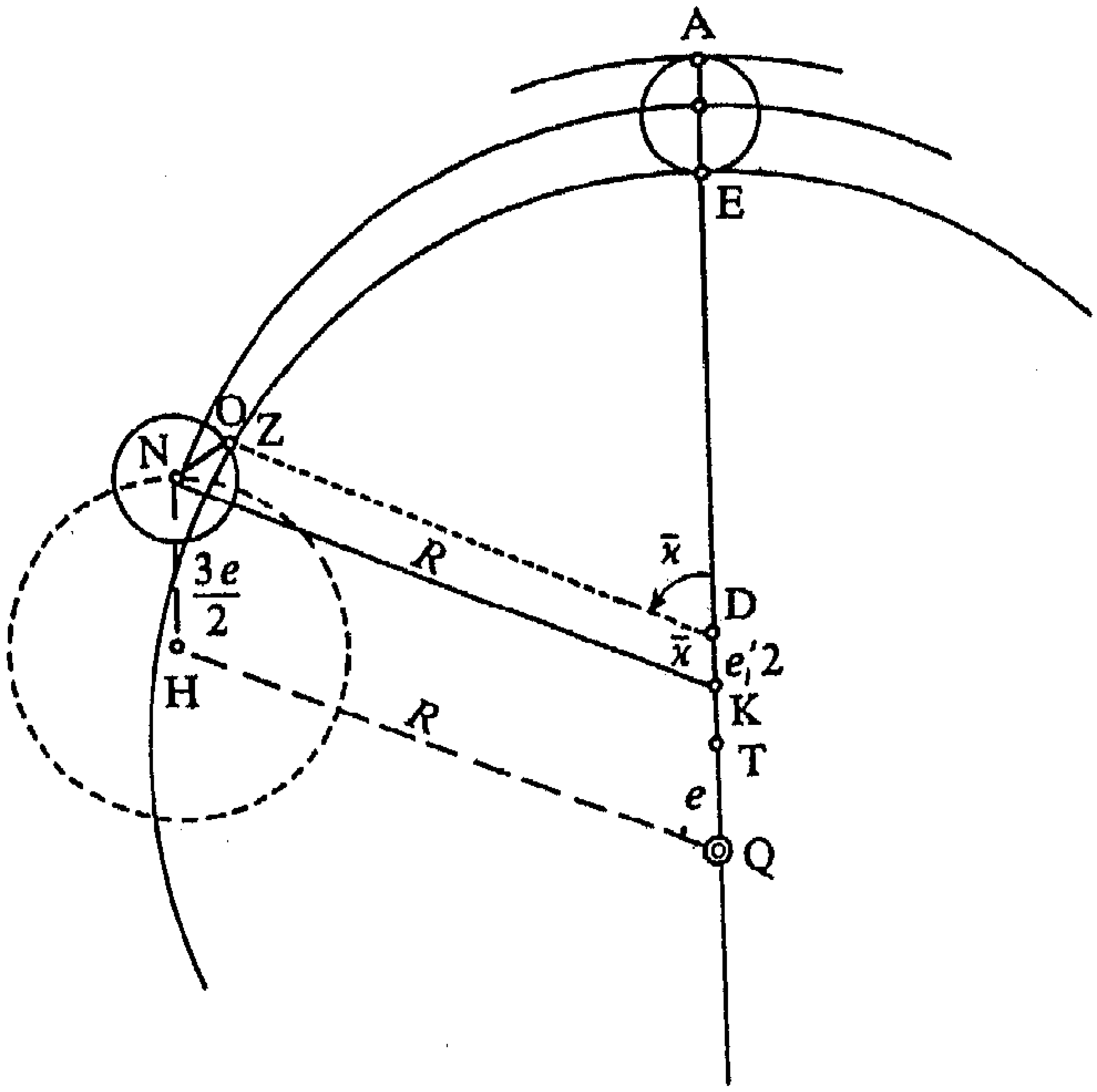
«في هيئة أفلاك زحل على الوجه الصحيح. يُتوهم من أفلاك زحل فلك ممثل بفلك البروج، في سطحه، حول مركزه، وعلى قطبيه [وهو غير مثبت في الشكل رقم (٣ ـ ٢٠) للتبسيط].

ويتوهم فلك ثانٍ [ممثل بنصف القطر QH في الشكل رقم (٣ ـ ٢٠)] مائل عن الممثل ميلاً ثابتاً، مقداره جزءان ونصف، مقاطع له على نقطتين متقابلتين، تسمى إحداهما الرأس والأخرى الذنب.

ويتوهم فلك ثالث [ممثل بالدائرة ذات المركز H في الشكل رقم (٣ ـ ٢٠)] مركزه على محيط المائل، ونصف قطره خمسة أجزاء وثمن جزء بالأجزاء التي بها نصف قطر المائل [وهو R في الشكل رقم (٣ ـ ٢٠)] ستين جزءاً، ويسمى الحامل.

---

(٦٥) انظر: George Saliba, «The Original Source of Quṭb al-Dīn al-Shīrāzī's Planetary Model,» *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 3, no. 1 (Spring 1979), pp. 3 - 18.



الشكل رقم (٣ ـ ٢٠)

ويُتوهم فلك رابع مركزه على محيط الحامل [ممثل بالدائرة ذات المركز N في الشكل رقم (٣ ـ ٢٠)]، ونصف قطره 30 ,42 ;1 جزء، ويسمى المدير.

ويُتوهم فلك خامس مركزه على محيط المدير [ممثل بالدائرة ذات المركز O في الشكل رقم (٣ ـ ٢٢)]، ونصف قطره 30 ;6 بتلك الأجزاء، ويسمى فلك التدوير [وهو غير مرسوم على الشكل رقم (٣ ـ ٢٠)].

ومركز جرم زحل لازم لنقطة على منطقة التدوير».

نستطيع الآن أن نُتحقق، وفقاً للأبعاد المثبتة هنا، من العلاقتين التاليتين اللتين تنطبقان على كافة الكواكب العليا الأخرى:

$HN = 3\,e/2$ ، و $NO = e/2$ ، حيث يكون e مساوياً لقيمة خروج المركز عند بطلميوس.

ففي حالة كوكب زحل مثلاً نرى أن $HN = 5\frac{1}{8} = 5;\ 7,\ 30$ وهي تعادل في الواقع $3NO = 3.\ (1;\ 42,\ 30)$، وينتج عن ذلك أن $HN + NO = 2\,e = 6;\ 50$، وهي تماماً

ضعف خروج المركز عند بطلميوس الذي هو 25 ;3 جزءاً.

أما اتجاهات حركات الأفلاك المثبتة في الشكل رقم (٣ ـ ٢٠)، فهي، تبعاً للمقادير التي أثبتها ابن الشاطر، على النحو التالي:

يتحرك الفلك الأول بسرعة 52 ,09 ,0 ;0 درجة في اليوم باتجاه توالي البروج، وهو غير مثبت على الشكل رقم (٣ ـ ٢٠).

ويتحرك الفلك الثاني بسرعة 17 ,26 ,0 ,2 ;0 درجة في اليوم باتجاه توالي البروج، وهو ممثل بنصف القطر QH.

والفلك الثالث يتحرك بسرعة 17 ,26 ,0 ,2 ;0 درجة في اليوم بعكس توالي البروج، وهو ممثل بنصف القطر HN.

والفلك الرابع يتحرك بسرعة 34 ,52 ,0 ,4 ;0 درجة في اليوم، وهي ضعف سرعة الفلك الثاني، باتجاه التوالي، وهو ممثل بنصف القطر NO.

أما الفلك الخامس فيتحرك بسرعة 22 ,34 ,43 ,7 ,57 ;0 درجة في اليوم باتجاه التوالي، وهو غير ممثل هنا.

يتبين بوضوح، من هذه العلاقات التي تنطبق أيضاً على الكواكب العليا الباقية، أن ما يسميه ابن الشاطر بالفلك الحامل، أي الدائرة ذات المركز H، يتحرك بمثل حركة الفلك المائل، الممثل بنصف القطر QH، ولكن بالاتجاه المعاكس. وهذا يعني عملياً أن قسماً من خروج المركز QK ينقل من المركز إلى المحيط، وذلك باستخدام نفس معادلة أبولونيوس المذكورة سابقاً، والتي استخدمها بطلميوس في الفصل الثالث من المقالة الثالثة من كتاب **المجسطي**. وهكذا فقد استطاع ابن الشاطر أن يحصل بذلك على هيئة موافقة لمركز الأرض حقاً، إذ ان نصف القطر QH يدور الآن حول مركز الأرض نفسها.

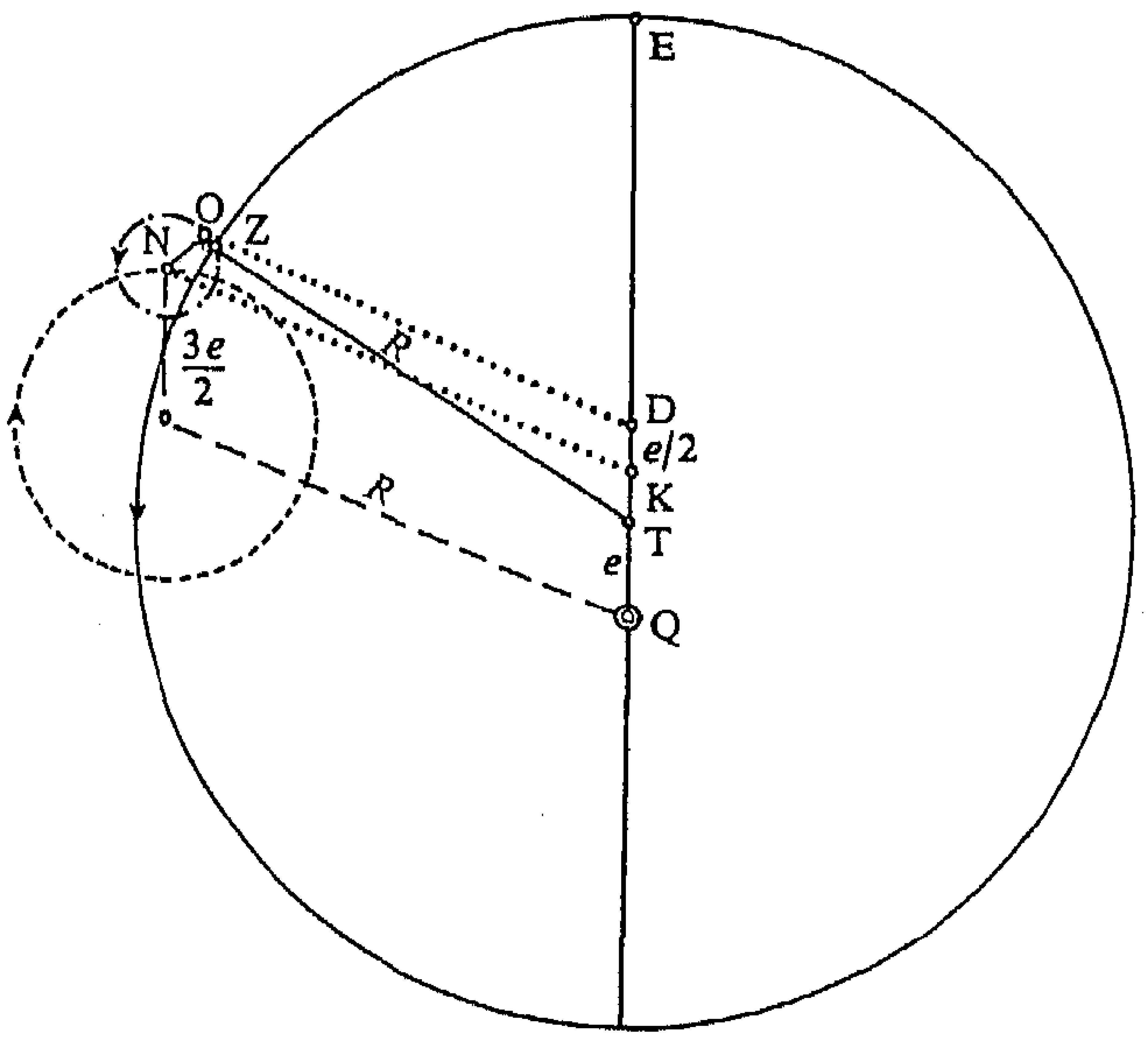
ولكي يعوض عن الباقي من خروج المركز، وليحتفظ بالفلك الحامل EZ في هيئة بطلميوس، يفترض ابن الشاطر أن فلك التدوير الصغير، ذا المركز N، يتحرك باتجاه معاكس لحركة الفلك الحامل ذي المركز H، بحيث تكون الزاوية HNO مساوية لـ $2\bar{x}$. وبما أن NH مساوٍ وموازٍ لـ QK، يكون الخطان NK وQH متساويين ومتوازيين. لذلك فإن الزاوية KNH مساوية لـ $\bar{x}$ وهي بدورها مساوية للزاوية KNO.

ولكن العرضي كان قد أثبت سابقاً في القضية العامة (الشكل رقم (٣ ـ ١٨)) أنه إذا

كان الخطان DK وNO متساويين، وإذا شكل هذان الخطان زاويتين متساويتين مع الخط KN، فإن الخط OD الذي يصل بين طرفيهما يكون موازياً لـ KN، وتصبح النقطة O قريبة جداً من النقطة Z، على الفلك الحامل في هيئة بطلميوس.

وهكذا فإن ابن الشاطر قد مزج، على ما يبدو، نتيجتين اثنتين كانت البحوث السابقة قد أمنتهما له. فقد استخدم أولاً معادلة أبولونيوس لينقل مفعول الخروج عن المركز QK إلى المحيط HN، ثم استخدم النتيجة التي حصل عليها العرضي ليجلب النقطة N قريباً من النقطة O بفضل القضية التي أثبتها العرضي. ولسنا بحاجة لأن نتكهن فيما إذا كان ابن الشاطر على معرفة مباشرة بأعمال العرضي، لأنه يقول بوضوح إنه كان يعرفه، وكان يلومه على احتفاظه بالأفلاك الخارجة المراكز.

والنتيجة النهائية تؤدي إلى فلك قريب جداً من الفلك الحامل عند بطلميوس، وإلى هيئة موافقة لمركز الأرض بدقة متناهية، وسالمة من التناقضات التي اعترت هيئة بطلميوس. فالشكل رقم (٣ ـ ٢١) يبين العلاقة بين هيئة ابن الشاطر المرسومة بالخطوط



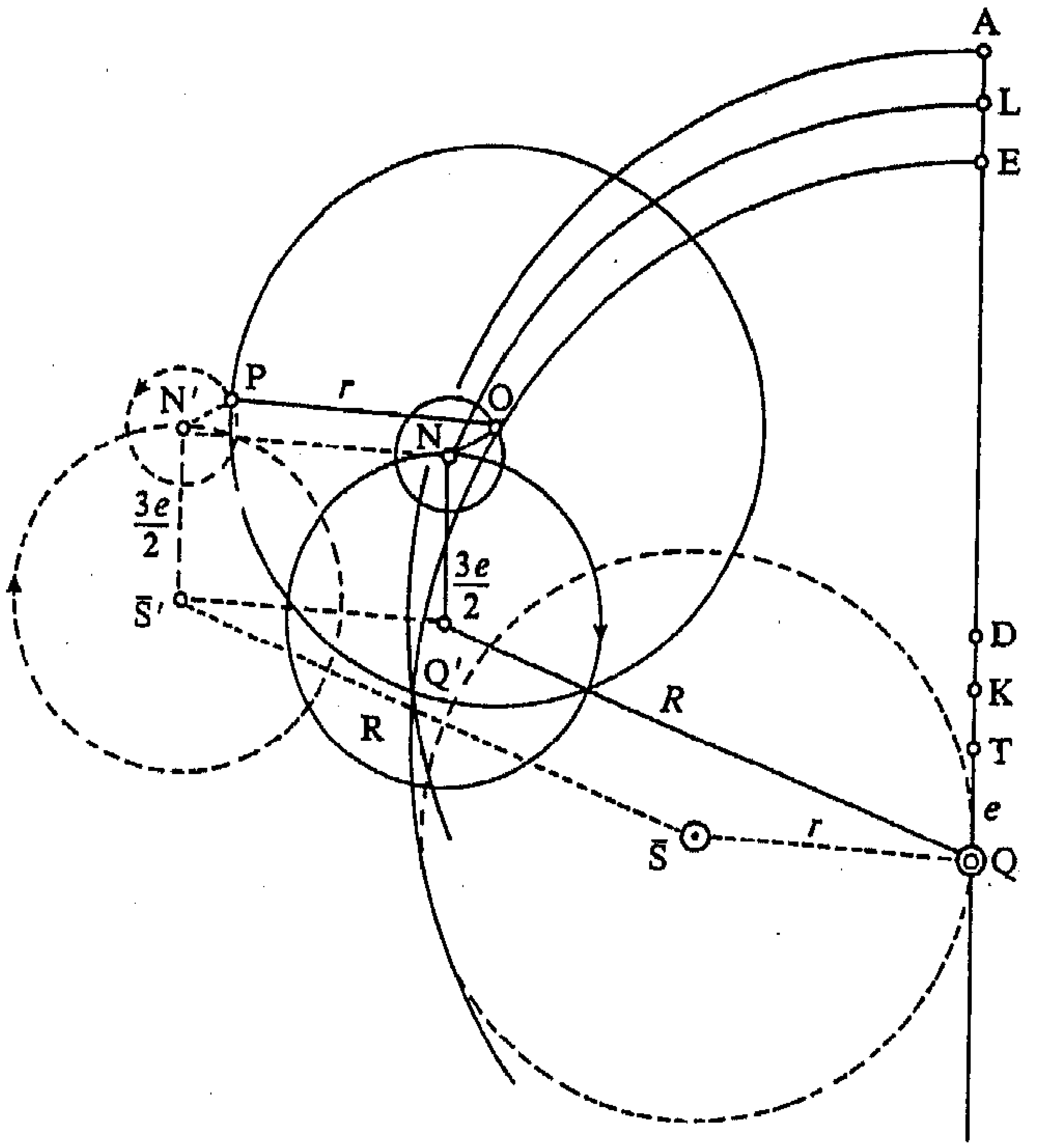
الشكل رقم (٣ ـ ٢١)

المتقطعة وبين هيئة بطلميوس ذات الخطوط المتواصلة. وقد أضيف إلى الشكل الخطان المتقطعان KN وDO للتذكير بهيئة العرضي. وقد بالغت عمداً في تضخيم المسافة بين نقطتي O وZ، وذلك لأنوه فقط على أنهما إجمالاً نقطتان مختلفتان، لا لأوحي بأنه يمكن التفريق بينهما بأية نتيجة من النتائج الرصدية. ففي هيئة المريخ، الكوكب الأعظم خروجاً

عن المركز، تبلغ قيمة الخط OZ مقدار 0.005 فقط إذا كان قدر نصف القطر 60 جزءاً(٦٦).

(٤) ابن الشاطر وكوبرنيكوس

لقد طابقنا في الشكل رقم (٣ ـ ٢٢) بين هيئتي ابن الشاطر وكوبرنيكوس، معتمدين في رسم الهيئة الأخيرة على ما جاء في كتابي كوبرنيكوس *Commentariolus*(٦٧) و*De Revolutionibus* (V,4). ولتسهيل الانتقال بين هيئة كوبرنيكوس المطابقة لمركز الشمس والمرسومة هنا بالخطوط المتقطعة، وهيئة ابن الشاطر المطابقة لمركز الأرض والمرسومة بالخطوط المتواصلة، فلقد أثبتنا الشمس الوسطى S في هيئة ابن الشاطر وأبقينا العلاقات



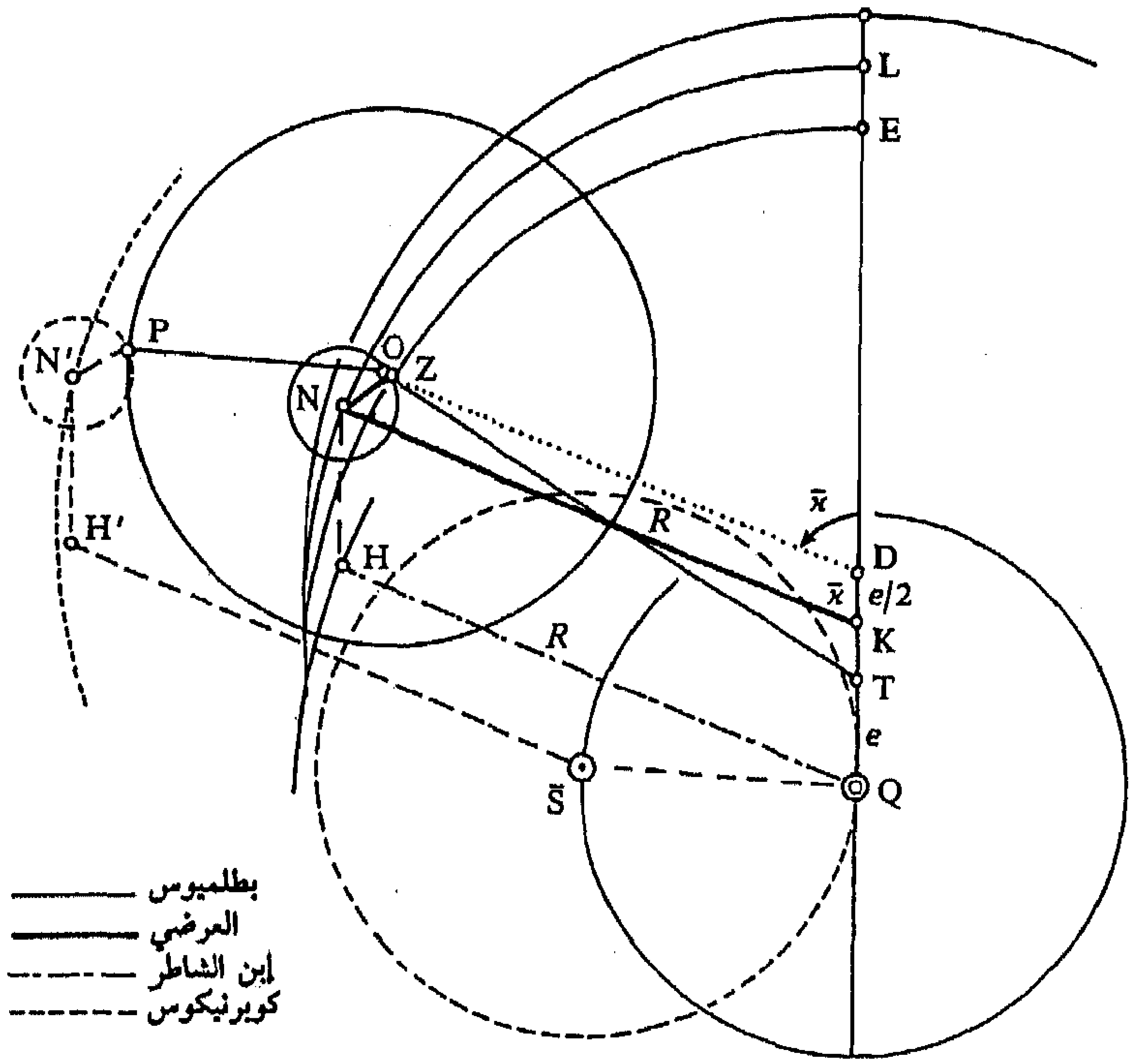
الشكل رقم (٣ ـ ٢٢)

(٦٦) انظر: Swerdlow, «The Derivation and First Draft of Copernicus's Planetary Theory: A Translation of the *Commentariolus* with Commentary,» p. 469.

(٦٧) انظر: المصدر نفسه، ص ٤٥٦ وما بعدها.

والحركات الأخرى على حالها. فإذا ثبتنا الشمس الوسطى S تمكنا من تحويل هيئة ابن الشاطر، بجميع أبعادها، إلى الهيئة التي تبنّاها كوبرنيكوس. ولما كنا نعرف أن جمع المتجهات إبدالي، فلا عجب أن تؤدي الهيئتان إلى نفس الموقع للكوكب P، بصرف النظر عن كون الشمس الوسطى أو عن كون الأرض ثابتة.

وختاماً لهذا القسم، لقد رسمنا على الشكل رقم (٣ ـ ٢٣) الهيئات الأربع التي جئنا على ذكرها، وهي هيئات بطلميوس والعرضي وابن الشاطر وكوبرنيكوس، وجعلناها متطابقة على نفس الفلك الحامل في هيئة بطلميوس. لقد أهملنا هيئة الجوزجاني لأسباب بديهية. وكذلك فعلنا بهيئتي الشيرازي وصدر الشريعة لأنهما تبنيا هيئة العرضي. إن التكافؤ بين الهيئات التي استبقيناها واضح بجلاء لأنها جميعها تنبىء بنفس الموقع للكوكب P دون أن تتضمن التناقضات الواردة في هيئة بطلميوس.



الشكل رقم (٣ ــ ٢٣)

يمكن أن تكون العلاقة التاريخية بين العرضي وبطلميوس قد مرت بمحاولة الجوزجاني الأولى. ولكنها قد تكون أيضاً نتيجة للاستخدام الناجح لمعادلة أبولونيوس على يد العرضي

بعد تنصيفه لخروج المركز عند بطلميوس. أما ابن الشاطر فقد أدرك جيداً أهمية هذه النتيجة التي تم الوصول إليها، فاستخدمها بالإضافة إلى معادلة أبولونيوس، ليحصل على هيئته الخاصة به. لقد رأينا أن ابن الشاطر كان على معرفة بأعمال العرضي، وأنه كان يلومه لاحتفاظه بالأفلاك الخارجة المراكز في هيئته. لذلك نستطيع أن نفهم لماذا لم يشعر بضرورة إقامة البرهان على توازي خطي OD وNK (الشكل رقم (٣ ـ ٢٣)) لأن هذا البرهان كان قد أقيم في القضية العامة التي ساقها العرضي (الشكل رقم (٣ ـ ١٨)). وكذلك لم يبرهن كوبرنيكوس على هذا التوازي، مما حدا بماستلين أن يبرهنه مجدداً وبشكل مفصل في رسالته الخاصة إلى كبلر(٦٨).

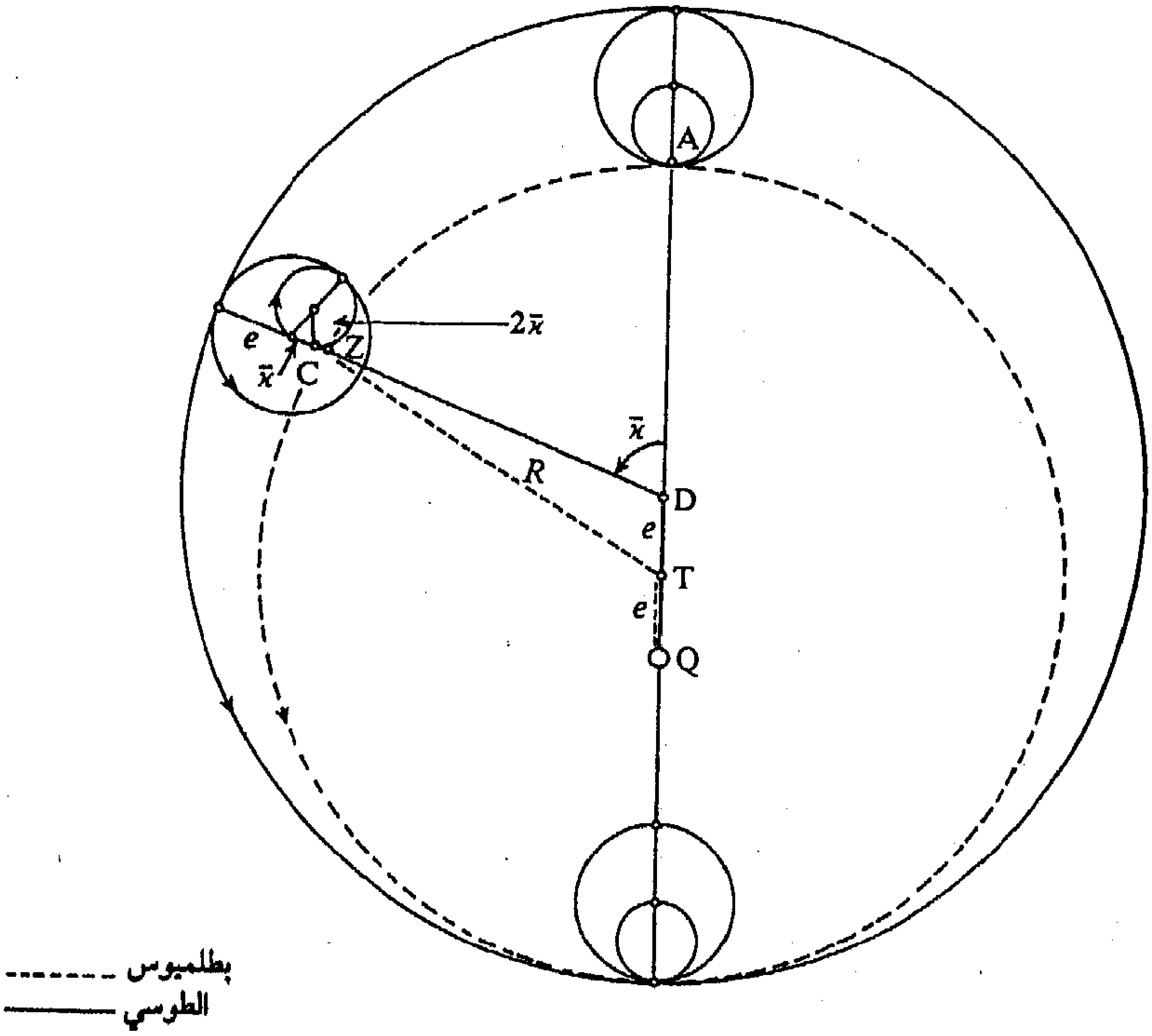
أما مسألة العلاقة المباشرة بين كوبرنيكوس وسابقيه من علماء الفلك المسلمين، وبالأخص بينه وبين ابن الشاطر، فما زالت مسألة معلقة. ولن يتم البتّ بها بطريقة أو بأخرى إلا بعد القيام ببحوث إضافية. ولكنه من الواضح أن الهيئة المكافئة التي ابتكرها ابن الشاطر كانت تستند تاريخياً إلى النتائج العديدة التي توصل إليها العلماء المسلمون السابقون. ويمكن بالتالي تعليلها على أنها استكمال طبيعي تاريخي للأبحاث التي تمت خلال القرون الثلاثة السالفة. أما هيئة كوبرنيكوس فلا نستطيع وصفها بنفس الصفة. وما علينا إلا أن ننكب على دراسة المصادر العربية نفسها لنتمكن من فهم العلاقات بينها بشكل تام لأجل استخدامها في هذا المجال، وأن ننكب على دراسة المصادر البيزنطية، لكي نصل نهائياً إلى استشفاف العلاقة بين كوبرنيكوس وسابقيه من العلماء المسلمين.

(٥) هيئة الطوسي للكواكب العليا

إذا أخذنا بعين الاعتبار علاقة هيئة الطوسي للكواكب العليا بهيئة كوبرنيكوس نجد أن هيئة الطوسي ترتبط بتقليد يختلف عن التقليد الذي ارتبطت به هيئة ابن الشاطر. وذلك أن الطوسي بدلاً من أن ينصّف خروج المركز في هيئة بطلميوس، حسب تقليد العرضي، يعمم هيئته الخاصة للقمر (الشكل رقم (٣ ـ ٢٤))، ويجعل «المزدوجة» تتحرك بحيث يقترب مركز فلك التدوير من معدل المسير عندما يكون فلك التدوير في أوج بطلميوس، ويبتعد عنه عند انتقاله إلى الحضيض. أما «المزدوجة» نفسها فهي محمولة على فلك يطابق مركزه نقطة معدل المسير. ونتيجة لذلك تكون جميع الحركات مستوية حول مراكز الأفلاك الخاصة بها، ولا ينتج عنها أي تناقض من التناقضات التي تضمنتها الهيئة البطلمية.

---

(٦٨) انظر: Grafton, «Michael Maestlin's Account of Copernican Planetary Theory,» pp. 528 ff.



الشكل رقم (٣ ـ ٢٤)

د ـ هيئات حركة عطارد

إن هيئة بطلميوس لكوكب عطارد، التي جاء وصفها سابقاً (الشكل رقم (٣ ـ ٤))، تشبه إلى حد بعيد هيئة القمر. فهي تتضمن عملياً آلية شبيهة بتلك التي استخدمت في هيئة القمر، فتسمح للكوكب أن يقترب من الأرض في موضعين اثنين، بدلاً من موضع واحد، لتوافق الأرصاد التي أثبت فيها بطلميوس بُعد الكوكب الأعظم من الشمس، والتي أدت إلى الاعتقاد بوجود حضيضين لعطارد. أما معدّل المسير لكوكب عطارد، فهو مثبت الآن على الخط الواصل بين المراكز، بين مركز العالم ومركز الفلك الخارج المركز، عندما يكون قطر الفلك الخارج المركز باتجاه الأوج، بدلاً من أن يكون على ضعف البعد من مركز العالم كما كانت الحال في هيئة الكواكب العليا. وتتطلب هيئة عطارد، خلافاً لهيئة القمر، أن يتحرك الكوكب بحركة مستوية حول معدل المسير، وليس حول مركز العالم كما كانت الحال في هيئة القمر.

إن أول فلكي معروف قام باقتراح هيئة بديلة لهيئة عطارد، تزيل عنها التناقضات التي

ألمت بهيئة بطلميوس، هو مؤيد الدين العرضي نفسه الذي تعرضنا لدراسة أعماله الخاصة بهيئة القمر وبهيئة الكواكب العليا.

(١) هيئة العرضي لكوكب عطارد

يكرس العرضي فصلين مختلفين لمناقشة هيئة عطارد، بالإضافة إلى عدة ملاحظات أدلى بها أثناء دراسته لهيئات الكواكب الأخرى. فالفصل الرابع والأربعون[٦٩] يحتوي على عرض مباشر لأفلاك عطارد مرفق بملاحظات مقتضبة عن حركات تلك الأفلاك. ويستخدم العرضي الأرصاد الجديدة، كلما رأى ذلك مناسباً، ليصحح الهيئة التي عرضها بطلميوس. ويذكر العرضي القارىء، في أحد المقاطع، بقوله: «لا يحتاج إلى زيادة الشرط الذي قاله بطلميوس في هذه الحركات بعد أن ثبت أن لأوج الشمس حركة مثل حركة أوج المدير الذي في الميزان».

أما الفصل الثامن والأربعون[٧٠] فهو مكرس، كما يدل عنوانه وهو «في إصلاح هيئة عطارد»، لإعادة صياغة هيئة عطارد بحيث يتم حل الإشكالين الواردين حول هيئة بطلميوس. وهذان الإشكالان هما كما هي الحال في هيئة القمر: (١) إشكال الفلك الحامل الذي يتحرك حول محور لا يمر بمركزه الخاص به، (٢) إشكال مركز معدل المسير الذي لا ينطبق على مركز الفلك الحامل ولا على المركز الذي يتحرك الفلك الحامل حوله بحركة مستوية.

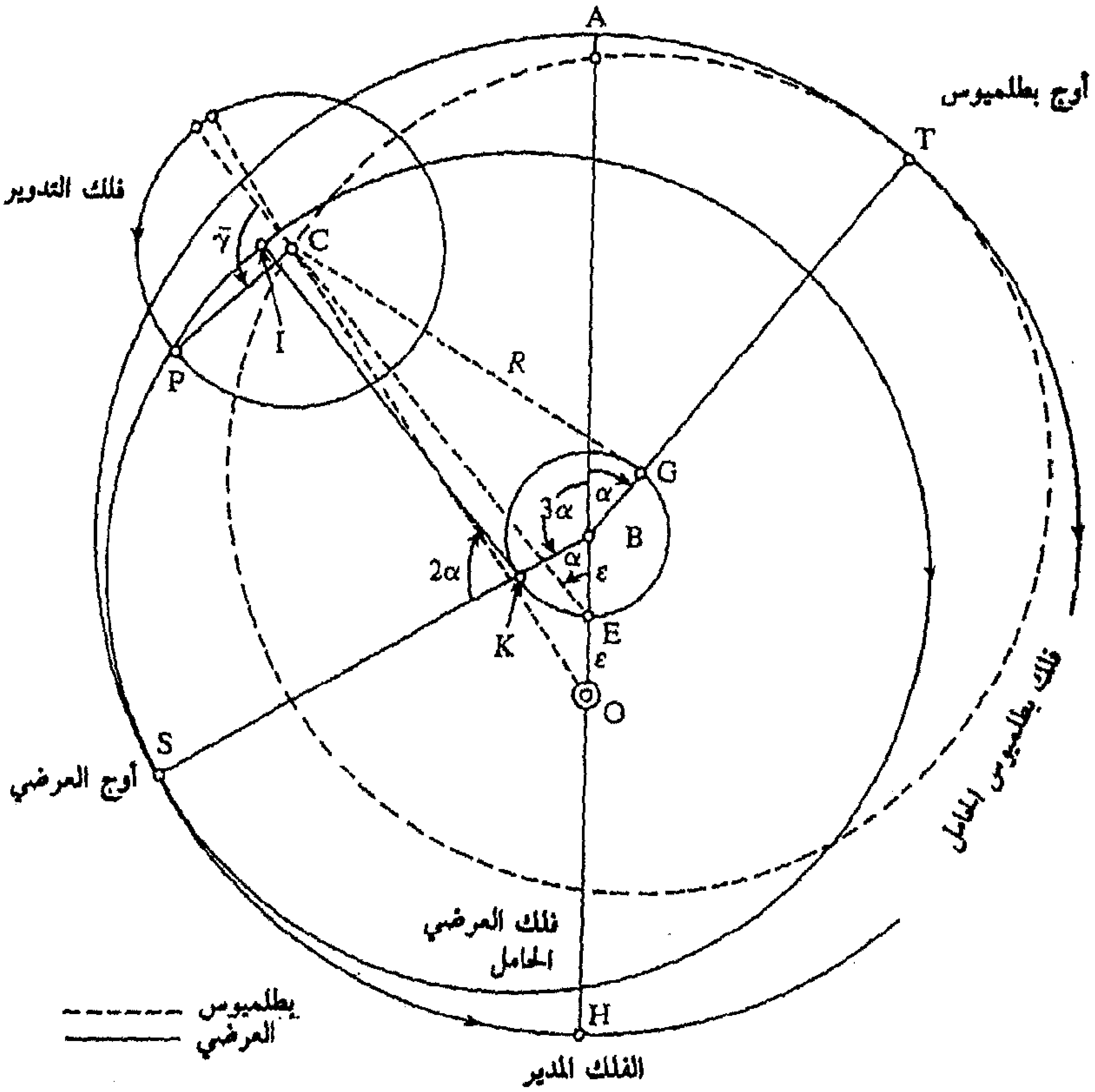
يتحرك الفلك الحامل، في هيئة بطلميوس (الشكل رقم (٣ ـ ٢٥))، بحركة الفلك المدير، وهي حركة مستوية حول المركز B بالاتجاه المخالف للتوالي، لينقل الأوج إلى نقطة T. أما الفلك الحامل نفسه فيتحرك بالاتجاه المعاكس حول مركزه الخاص به G، لينقل مركز فلك التدوير إلى النقطة C. ولكنه يبدو وكأنه يتحرك بحركة مستوية بالاتجاه المعاكس لاتجاه حركة المدير حول النقطة E التي هي مركز معدل المسير. وهذا ما يوجب أن يتحرك الفلك الحامل بحركة غير مستوية حول مركزه الخاص به G، مما يشكل خرقاً واضحاً لمبدأ الحركة المستوية.

يرد العرضي جواباً على ذلك بما يلي: «وهذا المجموع لزم عن عدة أمور: منها الرصد والبرهان المبني على الرصد، والحركات الدورية، والهيئة التي حدسها [بطلميوس]، وجهات الحركات. فأما الرصد والبرهان والحركات الدورية فلا يقدح في شيء منها، إذ لم يتبين أمر يخالفها.

---

(٦٩) انظر: العرضي، تاريخ علم الفلك العربي، مؤيد الدين العرضي (المتوفى سنة ٦٦٤هـ ـ ١٢٦٦م): كتاب الهيئة، ص ٢٣٥ ـ ٢٣٨، الاستشهاد التالي يقع على ص ٢٣٧.

(٧٠) المصدر نفسه، ص ٢٤٦ ـ ٢٥٧، والاستشهاد التالي يقع على ص ٢٥٠ ـ ٢٥١.



الشكل رقم (٣ ـ ٢٥)

فأما طريق الحدس فلم يكن هو [بطلميوس] أولى به من غيره بعد أن تبين خطأه. فإن وجد غيره أمراً يوافق الأصول ويطابق ما وجد بالأرصاد في الحركات الجزئية للكوكب، كان أولى بإصابة الحق.

ولما تبين لنا فساد هذا الرأي، وطلبنا إصلاحه كما فعلنا ذلك في باقي الكواكب،

فرأينا أنه يتم لنا إن قلبنا جهتي الحركتين المذكورتين ـ أعني حركة المدير وحركة الفلك الحامل. فتوهمنا حركة المدير إلى توالي البروج ثلاثة أمثال وسط الشمس، وحركة الحامل إلى خلاف التوالي ضعف وسط الشمس، فإن الحاصل لمركز التدوير إلى التوالي يكون مثل وسط الشمس. وعنده [أي عند بطلميوس] أيضاً كذلك». [ورقة ١٦٧ ظ من كتاب **الهيئة**].

فإذا رجعنا إلى الشكل رقم (٣ ـ ٢٥)، الذي نِسَبُه غير حقيقية، وطابقنا هيئة العرضي على هيئة بطلميوس، بنفس النسب، نرى أن هيئة العرضي تصف حركة كوكب عطارد بجعل حركة المدير مستوية، كما كانت الحال في حامل القمر عند بطلميوس، باتجاه التوالي، حول المركز B، لكي ينقل الأوج إلى النقطة S. أما الفلك الحامل نفسه، فيتحرك أيضاً بحركة مستوية، ولكن بالاتجاه المعاكس، حول مركزه الخاص به K ليعيد مركز فلك التدوير إلى النقطة I. وهكذا تكون الحركة الناتجة لمركز فلك التدوير موازية لحركة مركز التدوير عند بطلميوس وقريبة جداً منها، كما في الشكل رقم (٣ ـ ٢٥). أضف إلى ذلك أن هيئة العرضي تنسجم تماماً مع مبادىء الحركة المستوية وتكون قريبة جداً من نتائج الأرصاد، أو حسب قول العرضي: «طابق المتحصل منها المتحصل من هيئة بطلميوس، ولم يختلفا بشيء له عظيم قدر، لكن بشيء يسير يفوت مثله على الراصد». ثم يتابع العرضي فيقول: «وكان مذهبنا وطريقنا ليس عليها شك ولا يلزم عنها محال. فقد تبين ووضح أنها أتم وأكمل من غيرها»(٧١).

أما عالم الفلك التالي الذي اقترح هيئة بديلة لكوكب عطارد فهو قطب الدين الشيرازي، تلميذ الطوسي. وذلك لأن الطوسي نفسه كان قد اعترف صراحة في كتاب **التذكرة** بأنه لم يتوصل بعد الى وضع هيئة لعطارد، وأنه سوف يعود إلى صياغتها عندما يتم له توهم ذلك(٧٢). والأبحاث التي جرت حتى الآن تفيد بأنه لم يفعل ذلك قط.

(٢) هيئة قطب الدين الشيرازي لكوكب عطارد

لقد تم وصف هيئة الشيرازي هذه بشكل مقتضب على يد إ. س. كينيدي (E. S. Kennedy)(٧٣). ونحن نعتمد فيما يلي على ذلك الوصف وعلى هيئة الشيرازي الواردة في كتاب **التحفة الشاهية**.

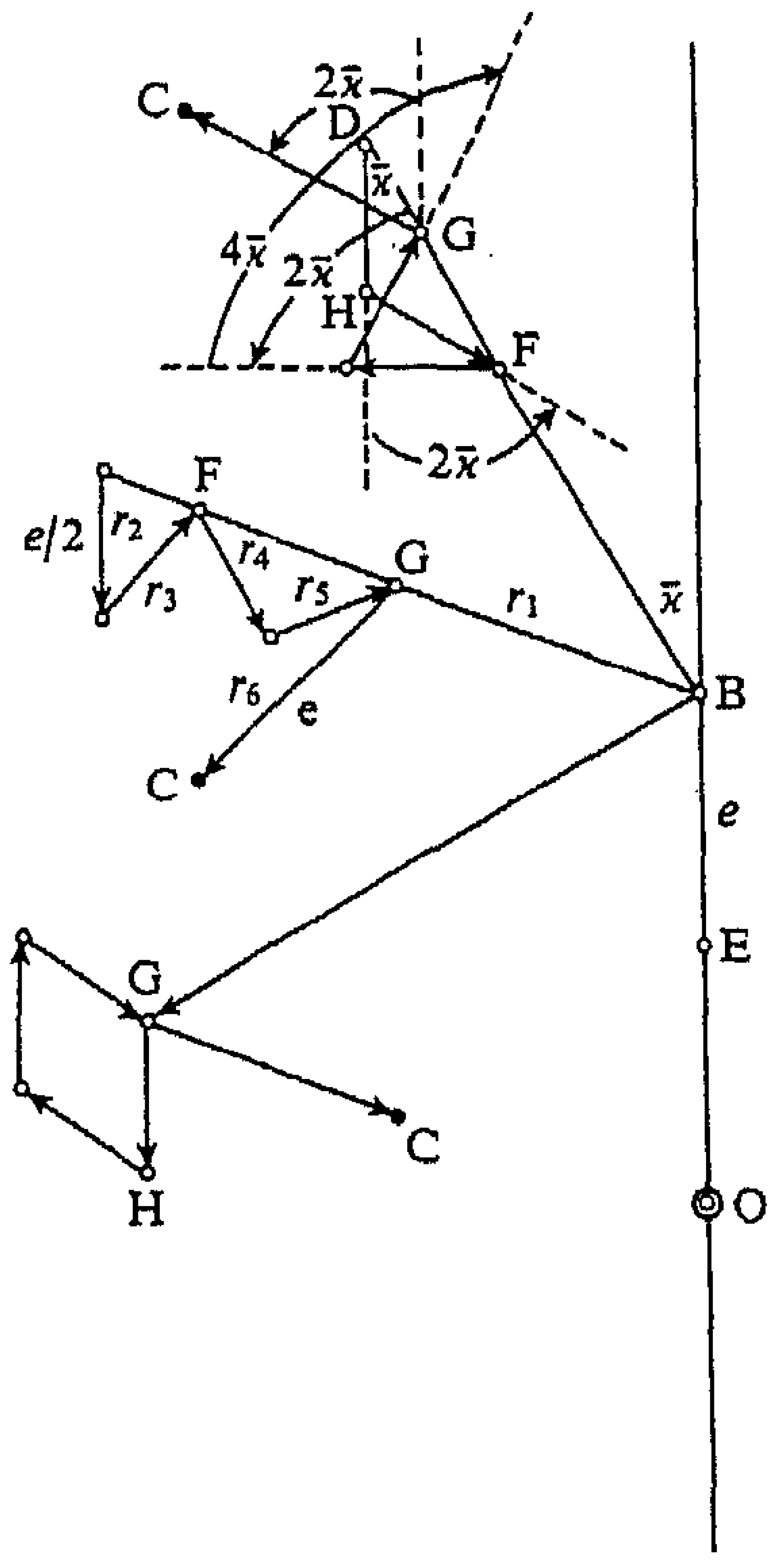
---

(٧١) المصدر نفسه، ص ٢٥٧.

(٧٢) يقول الطوسي في **التذكرة** (ليدن، مخطوطة شرقيات، ٩٠٥)، الورقة ٤٧ و: «وأما في عطارد، فلم يتيسر لي بعد توهم ذلك كما ينبغي. فإن توهم السبب في تشابه الحركة حول نقطة تتركب حركة المتحرك في القرب إليها والبعد عنها تركيباً كبيراً، متعذر. وإن يسر الله تعالى ذلك، ألحقته بذلك الموضع إن شاء الله تعالى».

(٧٣) انظر: Edward Stewart Kennedy, «Late Medieval Planetary Theory,» *Isis*, vol. 57, no.189 (Fall 1966), pp. 365 - 378 and especially pp. 373 - 375.

لقد اقترح الشيرازي إبدال هيئة عطارد التي صاغها بطلميوس بهيئة جديدة من عنده (الشكل رقم (٣ ـ ٢٦))، تتضمن ستة أفلاك هي التالية: (١) فلك حامل نصف قطره r_1 يعادل 60 جزءاً مركزه B خارج عن مركز العالم بمثل خروج المركز عند بطلميوس، وهذا المركز غير متحرك، كما هي الحال في هيئة بطلميوس، مما يزيل الحاجة إلى الفلك «المدير». (٢ ـ ٥) مزدوجتان متساويتان من «مزدوجات الطوسي» أنصاف أقطار كراتها الصغيرة متساوية $r_2 = r_3 = r_4 = r_5$ وتعادل نصف خروج المركز عند بطلميوس. (٦) فلك سادس، نصف قطره r_6 يعادل خروج المركز.



الشكل رقم (٣ ـ ٢٦)

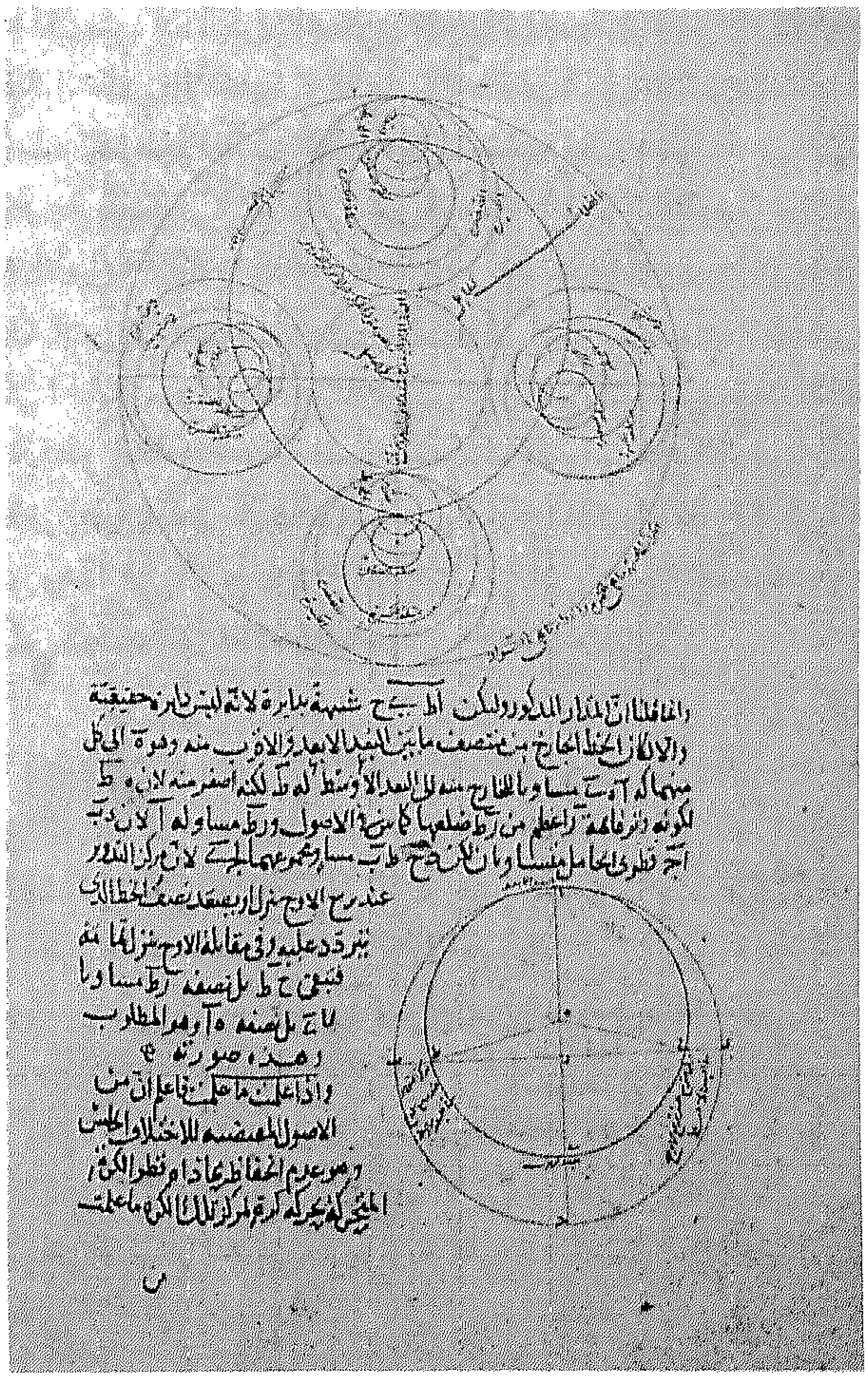
أما حركات هذه الأفلاك فهي كما يلي حسب وصف كينيدي (Kennedy) لها، وحسب وصف الشيرازي في **التحفة**: يتحرك الفلك الحامل باتجاه التوالي بحركة مستوية مثل حركة الشمس الوسطى $\bar{x}$. فتنتقل بهذه الحركة جميع الأفلاك الأخرى، أي أفلاك «مزدوجتي الطوسي» والفلك السادس الذي نصف قطره مساو لخروج المركز. أما «مزدوجة الطوسي» الأولى فتتحرك كرتها الكبرى بحركة الشمس الوسطى، ولكن على

خلاف التوالي. هذا يعني أن الكرة الصغرى تتحرك بضعف تلك الحركة بالاتجاه المعاكس، حافظة بذلك نقطة التماس الأصلية F دائماً باتجاه قطر الكرة الكبرى الذي هو اتجاه نصف قطر الحامل. وهذه النقطة F التي تتردد على نصف قطر الحامل هي أيضاً مركز الكرة الكبرى في «مزدوجة الطوسي» الثانية. أما حركة «مزدوجة الطوسي» الثانية فهي ضعف حركة «المزدوجة» الأولى، ولكن بالاتجاه المعاكس، مما يؤدي إلى إحداث نقطة جديدة خاصة بها هي النقطة G التي تتردد دائماً على طول قطر الكرة الكبرى، الذي هو بدوره على امتداد نصف قطر الحامل. ونتيجة حركة المزدوجتين هي أن تبقي مركز الفلك السادس G على طول نصف قطر الحامل، وأن تسمح له بأن يقترب من الأرض وأن يبتعد عنها. فبهذه الحركة يحقق نصف قطر الفلك السادس $GC = r_6$ والخط BE شروط القضية التي برهنها العرضي، وهذا ما يسمح لمركز فلك التدوير أن يرسم خطاً بيضاوياً مضغوطاً قرب وسطه، أي حيث يكون مركز فلك التدوير في الحضيضين.

وإذا شئنا وصف هذه الحركات باللغة الحديثة المتبعة في رياضيات المتجهات، فإننا نقول: إذا فرضنا أن الفلك الحامل قد تحرك بزاوية قدرها $\bar{x}$، لنأخذ، عندئذ، كنصف قطر للفلك الحامل (الشكل رقم (٣ ـ ٢٦)) المتجه r_1 الذي قد تحرك بزاوية $\bar{x}$، ويكون المتجه r_2، وهو نصف قطر الكرة الصغرى في «مزدوجة الطوسي» الأولى، قد تحرك بحركة الكرة الكبرى بالاتجاه المعاكس بزاوية قدرها $\bar{x}$. أما حركة الكرة الصغرى فتحرك المتجه r_3 بالاتجاه المخالف لحركة r_2 وبزاوية قدرها $2\bar{x}$. أما في «مزدوجة الطوسي» الثانية، فإن المتجه r_4 يتحرك بحركة الكرة الكبرى بزاوية قدرها $2\bar{x}$، تقاس من اتجاه r_1، ويتحرك المتجه r_5 بحركة الكرة الصغيرة باتجاه معاكس لاتجاه r_4 بزاوية قدرها $4\bar{x}$ تقاس من اتجاه r_4. أخيراً يتحرك المتجه r_6 بحركة فلكه الخاص به بزاوية قدرها $\bar{x}$ تقاس من اتجاه r_1.

إن مجموع هذه المتجهات r_2، r_3، r_4 وr_5 التي تصورناها على هذا النحو يسمح لمركز الفلك السادس G، الذي هو أصل المتجه r_6، بأن يتردد على طول نصف قطر الفلك الحامل. ومركز الفلك الحامل، في هذه الهيئة، يكون على بعد ثابت من مركز العالم قدره ضعف خروج المركز عند بطلميوس. ولما كان المتجه r_6 يتحرك دوماً بزاوية مساوية لتلك التي يتحرك بها الفلك الحامل، وبنفس الاتجاه، فإن رأس هذا المتجه يبدو وكأنه يتحرك دوماً بحركة مستوية حول مركز معدل المسير كما يمكن أن تنبىء به القضية التي برهنها العرضي في هيئة الكواكب العليا، وكما هو المفروض حسب أرصاد بطلميوس.

وهكذا يظهر أن الشيرازي قد استفاد، على ما يبدو، من النتائج التي توصل إليها كل من الطوسي والعرضي لصياغة هيئته الخاصة به، مستخدماً في ذلك الأساليب نفسها التي تم تطويرها قبله مثل «مزدوجة الطوسي» وقضية العرضي.



الصورة رقم (٣ ـ ٣)

قطب الدين الشيرازي، نهاية الإدراك في دراية الأفلاك

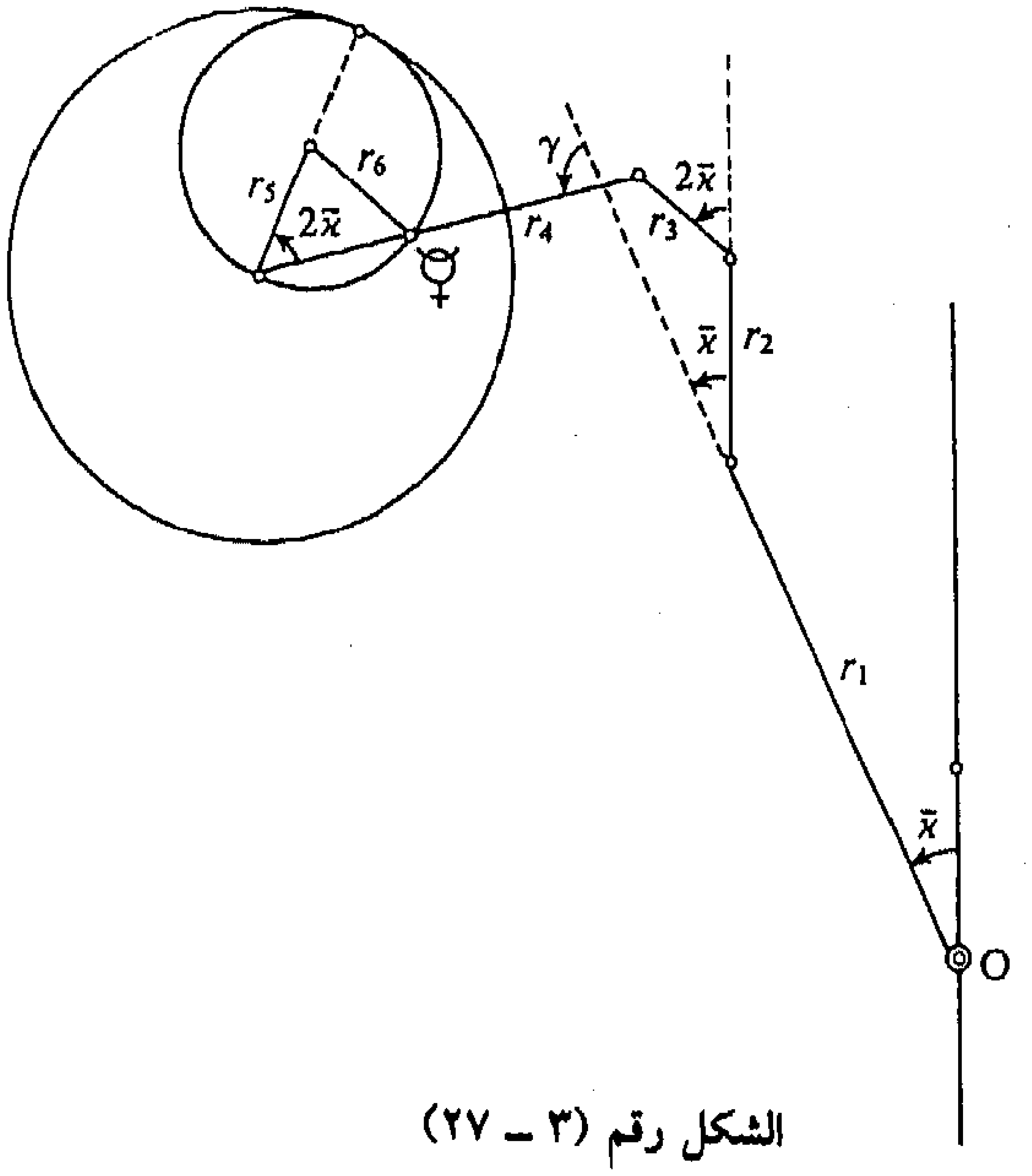
(القاهرة، مخطوطة المكتبة الوطنية، طلعت، هيئة ٤٥).

كانت أغلب المشكلات التي قابلت علماء الهيئة تتعلق بحركة القمر وحركة عطارد، وذلك لعدم انتظام حركة كل من هذين الجرمين. ونرى هنا ما قدمته مدرسة «مراغة» لحل هذه المشكلة والذي كان إنجازاً كبيراً في تاريخ علم الفلك. نرى هنا تركيباً معقداً لدوائر عدة ومختلفة مع استعمال «مقدمة» الطوسي. وكما نرى فهذا النموذج يختلف تماماً عن نموذج بطلميوس، وذلك ما رأيناه مع البيروني من قبل.

(٣) هيئة ابن الشاطر لكوكب عطارد

لقد ابتكر ابن الشاطر هيئة جديدة لكوكب عطارد تتلاءم، في آن واحد، مع حركات الأفلاك المستوية حول مراكزها الخاصة بها ومع الأرصاد البطلمية التي تقتضي أن تكون حركة عطارد مستوية حول مركز معدل المسير وأن يكون بعده الأقصى عن موضع الشمس الوسطى في نقطتين متناظرتين تقع كل منهما على زاوية قدرها 120° تقريباً من جانبي موضع الأوج. وكما فعل الشيرازي من قبل، فإننا سنرى أن ابن الشاطر قد استخدم النتائج التي توصل إليها كل من الطوسي والعرضي، وبالأخص «مزدوجة الطوسي» وقضية العرضي.

لقد استخدم ابن الشاطر الأسلوب نفسه الذي استخدمه سابقاً في هيئتي القمر والكواكب العليا اللتين مر وصفهما. فقد بدأ، هنا أيضاً، بإقامة الهيئة المبتكرة مفترضاً أنها تتطابق مع مركز الأرض لكي يتحاشى استخدام الأفلاك الخارجة المراكز التي كان يخطىء الآخرين في استخدامها[٧٤]. ولكي يجعل الهيئة مطابقة لمركز الأرض بالذات افترض (الشكل رقم (٣ ـ ٢٧)) وجود فلك مائل، نصف قطره r_1 مساو لستين جزءاً، مركزه مطابق



الشكل رقم (٣ ـ ٢٧)

(٧٤) انظر: ابن الشاطر، **نهاية السول في تصحيح الأصول**، بداية الفصل الثاني، حيث ينتقد ابن الشاطر علماء الفلك الأوائل الذين استخدموا أفلاكاً حاملة خارجة المراكز.

لمركز العالم O، ويتحرك باتجاه التوالي بحركة تعادل حركة الشمس الوسطى. ويحمل هذا الفلك المائل على منطقته فلكاً آخر، يُسمى الفلك الحامل، نصف قطره r_2 يعادل 5 ;4 جزءاً، ويتحرك بمثل حركة الفلك المائل ولكن بالاتجاه المعاكس. ويحمل الفلك الحامل، بالطريقة نفسها، فلكاً ثالثاً، يسمى الفلك المدير، نصف قطره r_3 يعادل 50 ;0 جزءاً، ويتحرك على التوالي، مثل الفلك المائل، ولكن بضعف حركة الشمس الوسطى. أما الفلك المدير فيحمل فلك التدوير الذي يعادل نصف قطره r_4، 46 ;22 جزءاً، والذي يتحرك بحركة كوكب عطارد الخاصة. وعلى منطقة فلك التدوير فلك خامس، يسمى الفلك المحيط أو الشامل، نصف قطره r_5 يعادل 33 ;0 جزءاً، ويتحرك باتجاه التوالي بمثل ضعف حركة الشمس الوسطى. ويحمل الفلك الخامس بدوره فلكاً آخر سادساً، يسمى الفلك الحافظ، نصف قطره r_6 يعادل نصف قطر الفلك الخامس، ويتحرك بخلاف التوالي بحركة قدرها أربعة أضعاف حركة الشمس اليومية الوسطى. أما الكوكب عطارد فهو مركز على منطقة الفلك السادس.

وإذا استخدمنا المصطلحات الحديثة للمتجهات، جعلنا نصف قطر الفلك المائل متجهاً r_1 طوله 60 جزءاً. وتكون حركته باتجاه التوالي بقدر حركة الشمس اليومية الوسطى. ونجعل متجهاً آخر r_2 على رأس المتجه الأول، يمثل الفلك الحامل، فيكون طوله 5 ;4 جزءاً. أما حركته فتكون مثل حركة r_1 وبالاتجاه المعاكس. هذا يعني أن r_2 ينتقل دوماً باتجاه موازٍ لاتجاه خط الأوج والحضيض، ويحمل بالتالي قسماً من خروج المركز يعادل 5 ;4 جزءاً من المركز الى المحيط. أما المتجه r_3 الذي يمثل المدير، فيتحرك بضعف حركة r_1 وبالاتجاه نفسه. ونستطيع أن نبين بسهولة، باستخدام قضية العرضي، أن رأس المتجه r_3 يبدو وكأنه يتحرك بحركة مستوية حول نقطة على خط الأوج والحضيض يكون بعدها عن مركز العالم مساوياً لـ 3;15 = 50 ;0 - 5 ;4 جزءاً. ولما كان رأس المتجه r_3 هو حقاً مركز فلك التدوير في هيئة بطلميوس، ينتج عن حركته النتيجة نفسها التي تتأتى من حركة مركز فلك التدوير حول مركز معدل المسير، الذي يبعد ثلاثة أجزاء عن مركز العالم في هيئة بطلميوس. وهكذا ينحل إشكال معدل المسير.

أما المتجهان الأخيران r_5 وr_6 فيفترض بهما تحقيق المطلب الثاني في هيئة بطلميوس، وهو جعل فلك تدوير عطارد يبدو أكبر حجماً عندما يكون الكوكب على بعد حوالى 90 درجة من الأوج. وهذا ما يتحقق إذا فرضنا أن هذين المتجهين يمثلان نصفي قطر الدائرة الصغيرة في «مزدوجة الطوسي»(٧٥)، حيث يصبح قطر الدائرة الكبيرة باتجاه قطر فلك

---

(٧٥) يتكلم ابن الشاطر عن فلكين نصف قطريهما متساويان مركز أحدهما على محيط الآخر. فذلك يعني ضرورة أنه كان يقصد بذلك «مزدوجة الطوسي» وليس دائرتين متقاطعتين، وإلا فإن على هذه الأفلاك أن تتقاطع مما لم يكن مقبولاً حسب العرف الذي كان شائعاً خلال القرون الوسطى.

التدوير، فيزداد وينقص هذا الأخير بقيمة قدرها 66 ;0 جزءاً.

وهكذا يتم بتحقيق هذا المطلب الأخير الرد على المطلبين الرئيسيين في هيئة بطلميوس، وتزول التناقضات التي كانت تعتري تلك الهيئة. وكما نوهنا سابقاً فإن هيئة ابن الشاطر هذه قد استفادت من النتائج المهمة التي توصل إليها كل من العرضي والطوسي. لذلك نستطيع القول إن ابن الشاطر كان وريثاً حقيقياً لتقليد فلكي عربي عريق، أعطاه نتائج عديدة. وقد تمكن ابن الشاطر من جمعها معاً، كما فعل مثلاً في هيئة الكواكب العليا، ومن إضافة مطلب التطابق مع مركز الأرض إليها. كل ذلك حصل خلافاً لما فعله كوبرنيكوس الذي استخدم الهيئة نفسها لحركات عطارد دون أن يفهمها جيداً في أول الأمر ـ كما في كتاب *Commentariolus*(٧٦) ثم عاد فأحسن وصفها في كتاب *De Revolutionibus*(٧٧).

(٤) هيئة صدر الشريعة لكوكب عطارد

لقد عرض صدر الشريعة هيئة بطلميوس لكوكب عطارد(٧٨) في **كتاب التعديل**، وختم ذلك بتعدادٍ للشوائب التي كانت تلم بها. ثم كرر ما قاله الطوسي في **كتاب التذكرة** حيث اعترف صراحة بأنه لم يكن بعد قد صاغ هيئة لحركات عطارد. وادعى صدر الشريعة عندئذ أنه وفق بعون الله حيث أخفق الطوسي. وتابع بعد ذلك كلامه فوصف هيئة تعتمد بخطوطها الرئيسية على تعديل الهيئة التي كان قطب الدين الشيرازي قد أعدها لحركات القمر، والتي جاء ذكرها سابقاً.

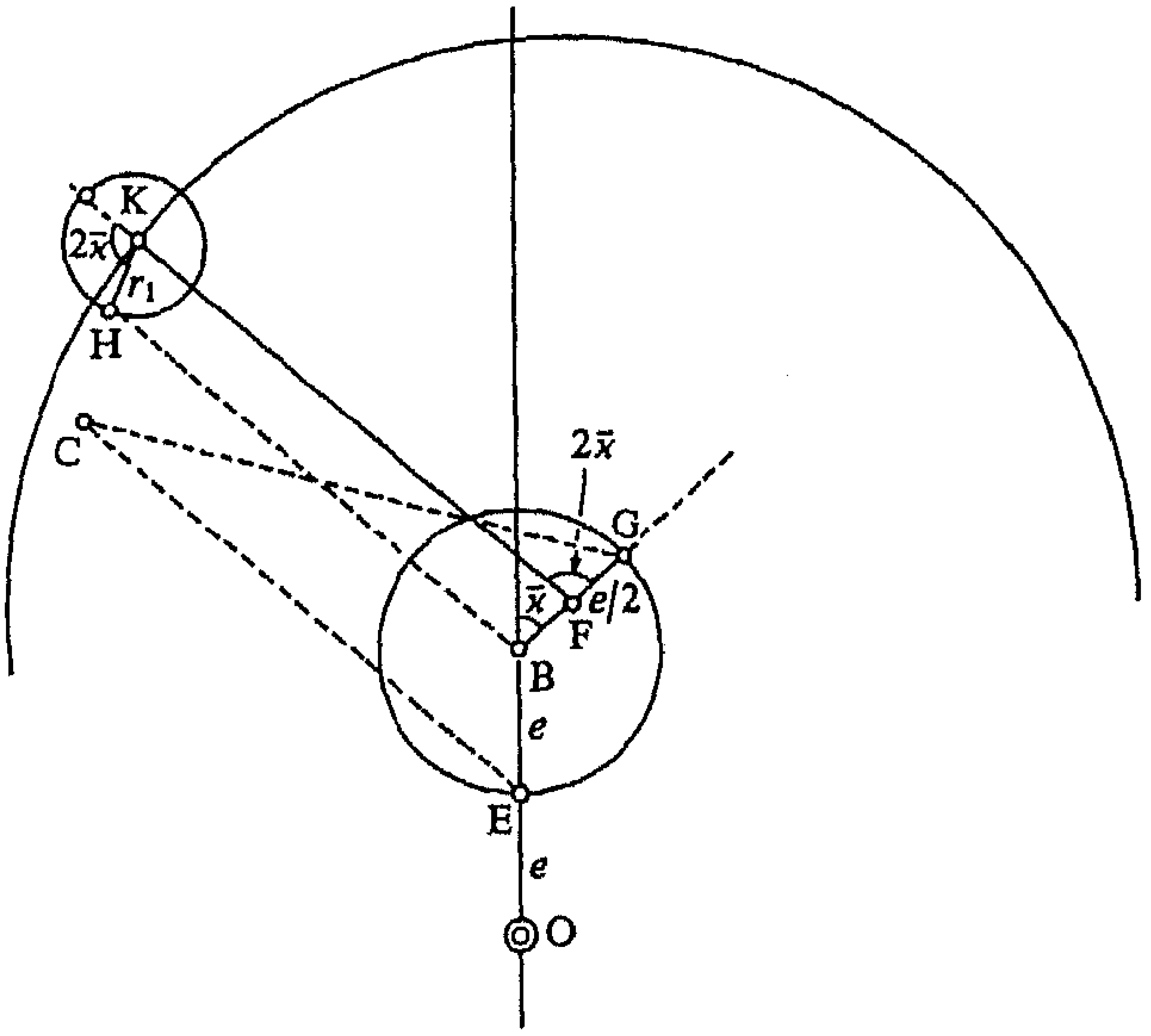
يقترح صدر الشريعة في الشكل رقم (٣ ـ ٢٨) زيادة فلك جديد حامل خارج المركز، يبعد مركزه F عن مركز الفلك المدير بقدر نصف خروج المركز عند بطلميوس، وهذا ما يجعل هذا المركز فوق مركز معدل المسير عند بطلميوس باتجاه الأوج على بعد قدره مرة ونصف مرة من خروج المركز عند بطلميوس. ويتحرك هذا الفلك بحركة هي ضعف حركة المدير وبالاتجاه المخالف لها، أي أنها تكون باتجاه التوالي. يستخدم صدر الشريعة بعد ذلك قضية العرضي، ويضيف فلك تدوير صغير على منطقة الحامل، نصف قطره r_1 مساو لنصف خروج المركز عند بطلميوس، ويجعل هذا الفلك يتحرك بمثل حركة الحامل وبالاتجاه نفسه. أما فلك التدوير الحقيقي للكوكب فهو محمول على منطقة هذا التدوير

---

(٧٦) انظر: Swerdlow, «The Derivation and First Draft of Copernicus's Planetary Theory: A Translation of the *Commentariolus* with Commentary,» p. 504.

(٧٧) انظر: Noël M. Swerdlow and Otto Neugebauer, *Mathematical Astronomy in Copernicus's De Revolutionibus*, Studies in the History of Mathematics and Physical Sciences; 10, 2 vols. (New York: Springer - Verlag, ©1984), pp. 403 ff.

(٧٨) صدر الشريعة، **كتاب التعديل في الهيئة**، الورقتان ٣٢و ـ ٣٣ظ.



الشكل رقم (٣ ــ ٢٨)

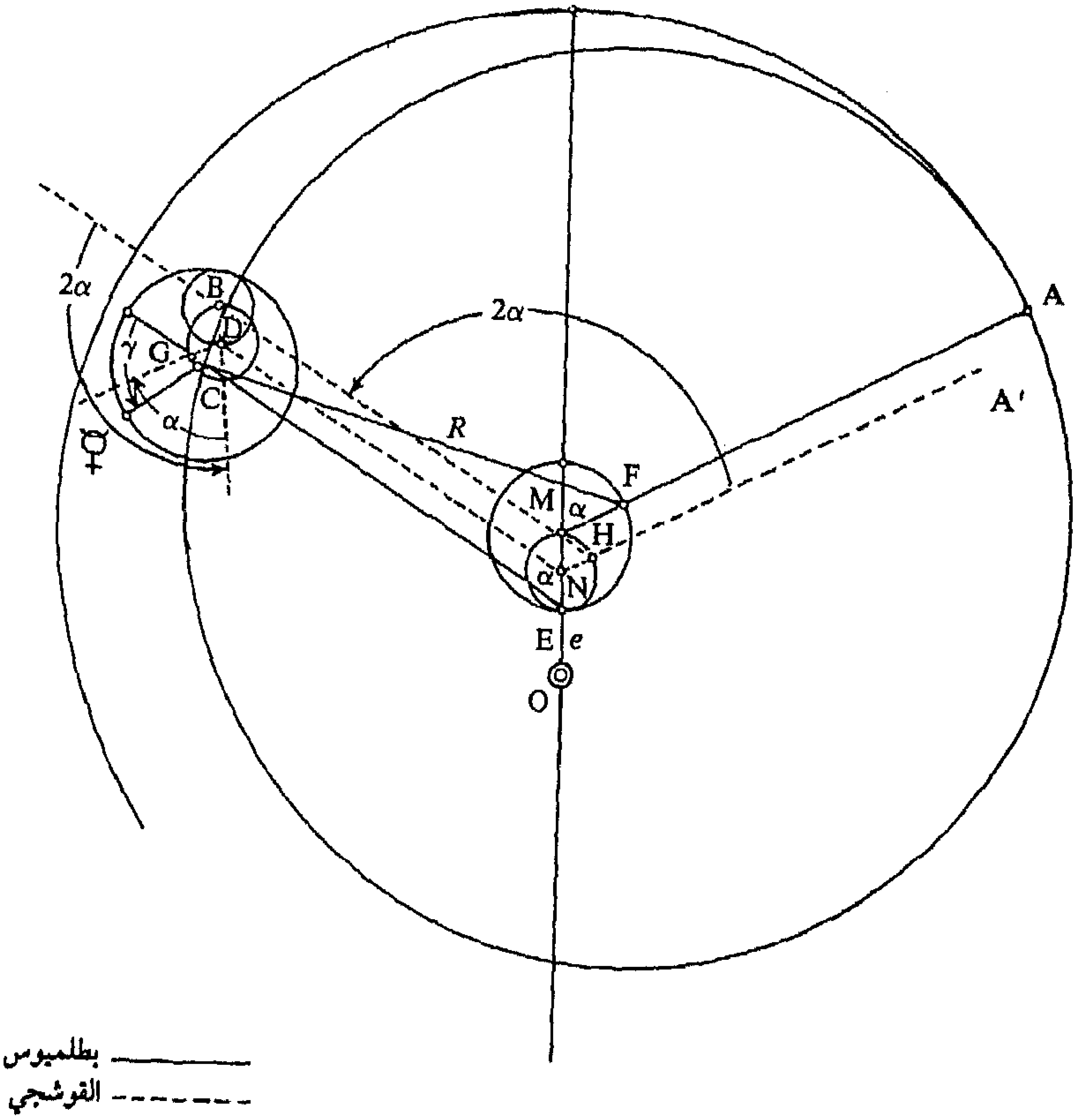
الصغير. وباستخدام قضية العرضي يتبين أن مركز التدوير الحقيقي H يظهر وكأنه يقطع أقواساً متساوية في أزمان متساوية، أي أنه يتحرك بحركة مستوية، حول مركز المدير B. أضف إلى ذلك أن مركز التدوير الحقيقي H يكون بالنسبة الى مركز المدير في نفس الجهة التي يكون فيها مركز فلك التدوير في هيئة بطلميوس بالنسبة الى مركز معدل المسير. ولما كان يصف جميع هذه الحركات بأنها حركات وسطى، فقد ارتضى صدر الشريعة بكون مركز فلك التدوير يتحرك باتجاه مواز للاتجاه الذي أنبأت به هيئة بطلميوس، لأنه ادعى بأنه وجد هيئة بديلة لا تشوبها الشوائب التي ألمت بهيئة بطلميوس.

(٥) هيئة أفلاك عطارد عند القوشجي (المتوفى سنة ١٤٧٤م)

توجد رسالة في مكتبة الجمعية الآسيوية في كالكوتا (تحت رقم A١٤٨٢) منسوبة الى مؤلف مجهول قد أثبت كاتب هذه السطور مؤخراً أنه علاء الدين القوشجي، نجد فيها محاولة أخرى لصيغة هيئة لكوكب عطارد.

عرض القوشجي في البداية هيئة بطلميوس لكوكب عطارد، ثم قام بانتقادها، وانتقل بعد ذلك إلى اقتراح حله الخاص للمشاكل التي تضمنتها تلك الهيئة. فهو يفرض أولاً (الشكل رقم (٣ ـ ٢٩)) أن مركز فلك التدوير عند بطلميوس C (أو G) محمول على فلك تدوير صغير مركزه النقطة D، ونصف قطره مساوٍ لنصف خروج

المركز عند بطلميوس. وهذا الفلك الصغير محمول على فلك تدوير صغير آخر مماثل للأول ومركزه النقطة B. ويفترض بعد ذلك أن فلك التدوير الصغير الذي مركزه B هو أيضاً محمول على فلك حامل جديد مركزه النقطة H، التي تبعد عن مركز المدير N بقدر نصف خروج المركز عند بطلميوس. والنقطة N هي المركز الجديد للفلك المدير. وكان القوشجي قد حدد بعد مركز المدير الجديد هذا عن مركز العالم بقدر مرة ونصف مرة من خروج المركز عند بطلميوس.



الشكل رقم (٣ ـ ٢٩)

أما حركات هذه الأفلاك المثبتة في الشكل فهو يصفها، بعد ذلك، كما يلي: يحرك المدير الفلك الحامل على خلاف التوالي بحركة قدرها مثل قدر حركة الشمس اليومية الوسطى، فينقل معه موضع الأوج إلى النقطة A′. أما الفلك الحامل فيتحرك بالاتجاه المعاكس، وبضعف تلك الحركة، فينقل معه مركز فلك التدوير الصغير B ليصبح على اتجاه

HB. ويتحرك فلك التدوير الصغير الذي مركزه B بمثل حركة الفلك الحامل وبنفس الاتجاه، فينقل النقطة D، التي هي مركز فلك التدوير الصغير الآخر، لتبدو وكأنها تتحرك بحركة مستوية حول النقطة N، التي هي مركز المدير الجديد. أما فلك التدوير الصغير الآخر فينقل مركز فلك التدوير G إلى خلاف التوالي، بحركته التي تعادل حركة الفلك المدير قدراً وجهةً. ومجموع هذه الحركات يضمن أن تبقى النقطة G دائماً باتجاه النقطة C وعلى الخط الواصل بين النقطة C ومركز معدل المسير E. هكذا تبدو النقطة G وكأنها تتحرك دوماً بحركة مستوية حول مركز معدل المسير، كما هو المفروض.

إن المتفحص لهذه الهيئة عن كثب يكتشف فوراً أنها مدينة بالدرجة الأولى لقضية العرضي، إذ تم استخدام هذه القضية أولاً لجعل D وN على خط واحد، وثانياً لجعل G وE على خط آخر مواز للخط الأول. وهذه الهيئة مدينة أيضاً، بالدرجة الثانية، للهيئة التي أوردها قطب الدين الشيرازي للقمر ـ لأنها حافظت على الآلية التي استخدمها بطلميوس بعد تنصيف خروج المركز ـ ولهيئة القمر الأكثر بساطة التي ارتآها صدر الشريعة.

خاتمة

وهكذا يتضح لنا، بعد هذا العرض العام لنظريات حركات الكواكب التي طورها علماء الفلك الناطقون بالعربية بعد القرن الثاني عشر للميلاد، أن هذا التقليد العلمي الطويل الأمد قد توصل إلى تحقيق إنجازين رئيسيين، هما بشكل أساسي، نظريتان رياضيتان. هذا إذا طرحنا جانباً موضوع حركة الكواكب في العرض، وموضوع أبعاد الكواكب اللذين لم يحصلا على نفس الاهتمام في هذا التقليد العلمي. أما النظريتان اللتان أشرنا إليهما أعلاه فهما «قضية العرضي»، و«مزدوجة الطوسي». فباستخدام هاتين النظريتين، وباللجوء إلى تنصيف خروج المركز عند بطلميوس، أصبح بالإمكان نقل أقسام من تلك الهيئات من المركز إلى المحيط وبالعكس. فهذه الحرية في الحركة قد سمحت بالحفاظ على مفعول معدل المسير عند بطلميوس، ولكنها سمحت أيضاً بتطوير مجموعة من الحركات المستوية التي لا تتعارض مع المعطيات الطبيعية. إضافة إلى ذلك، إن «مزدوجة الطوسي» قد سمحت أيضاً بإحداث حركة خطية نتيجةً لحركات دائرية، مما مكن ابن الشاطر، وكوبرنيكوس من بعده، من أن يحدثا تغييراً في أقطار أفلاك التداوير المرئية، فتبدو أكبر أو أصغر مما كانت عليه، وذلك باللجوء إلى حركة دائرية مستوية أو إلى تراكيب حركات أخرى مثيلة لتلك الحركة.

النتيجة الأخرى التي تم التوصل إليها من هذا العرض العام هي أن الانتقادات التي تعرض لها بطلميوس أصبحت تقليداً متبعاً بعد القرن الثالث عشر. وكان يندر أن تجد في تلك الفترة فلكياً يقوم بعمل فلكي رصين دون أن يتعرض إلى إصلاح علم الفلك اليوناني بطريقته الخاصة به. والمضحك في الأمر أن هذه الفترة التي تمت فيها معظم الإنجازات

الفلكية الأصيلة والتي كتبت باللغة العربية هي أيضاً الفترة التي يشار إليها عادة بأنها كانت فترة انحطاط في الإنتاج العلمي الإسلامي ولا يعيرها الباحثون إلا القليل من اهتمامهم.

ولكن الأعمال الحديثة التي تناولت علم الفلك عند كوبرنيكوس، وخاصة تلك التي قام بها كل من نوجبُوِر (Neugebauer) وسْوِردلو (Swerdlow)، لم تترك مجالاً للشك في تأثير هذا التقليد العربي في علم الفلك على كوبرنيكوس نفسه. وما نحن إلا بانتظار الأبحاث التي ستتم مستقبلاً لكي نتحقق من السبل التي تم استخدامها في نقل هذا التراث العلمي العربي من الشرق إلى الغرب، والتي كان لها هذا التأثير على كوبرنيكوس.

ـ ٤ ـ

علم الفلك والمجتمع الاسلامي

داڤيد كينغ(*)

القسم الأول: القبلة: الوجهة المقدسة

مدخل(١)

فرض القرآن الكريم على المسلمين أن يولوا وجوههم شطر الحرم المقدس في مكة إبان صلواتهم. فقد جاء في الآية (١٤٤) من سورة البقرة: ﴿**فَوَلِّ وجهك شطر المسجد الحرام وحيث ما كنتم فولوا وجوهكم شطره**﴾. والمركز المادي للعبادة الإسلامية في الواقع هو الكعبة، التي هي عبارة عن بناء مكعب يقع في قلب مكة. ولقد أصبح هذا الحرم الوثني القديم، والذي لم يحدد بالضبط منشؤه تاريخياً، المركز المادي للدين الجديد، الإسلام، والدلالة على حضور الله.

(*) معهد تاريخ العلوم، جامعة جوان وولفغانغ، غوته ـ فرانكفورت ـ ألمانيا.

قام بترجمة هذا الفصل نزيه عبد القادر المرعبي.

(١) من أجل نظرة شاملة حول مسألة القبلة، انظر: David A. King, «The Sacred Direction in Medieval Islam: A Study of the Interaction of Science and Religion in the Middle Ages,» *Interdisciplinary Science Reviews*, vol. 10 (1985), pp. 315 - 328.

وحول مواضيع مختلفة تتطرق إلى هذه المسألة، انظر: «Anwā'»; «Manāzil»; «Matla'»; «Ka'ba»; «Kibla», et «Makka» dans: *Encyclopédie de l'Islam*, 6 vols. parus, 2ème éd. (Leiden: E. J. Brill, 1960 -).

فالمسلمون يولون، إذن، وجوههم شطر الكعبة خلال صلواتهم، كما أن مساجدهم موجهة نحوها. ويشير المحراب في الجامع إلى القبلة، أي إلى الاتجاه المحلي لمكة. وكان الأموات يدفنون في القرون الوسطى على الجانب وبشكل مواجه للقبلة. بينما يتم الدفن في أيامنا هذه تبعاً لاتجاهها. ويفرض التقليد الإسلامي أيضاً على الإنسان الذي يقوم ببعض الأعمال، كتلاوة القرآن الكريم والدعوة إلى الصلاة والذبح الشعائري للحيوانات بهدف الأكل، أن يقف مقابل القبلة. كما يفرض من جهة أخرى قضاء الحاجات الطبيعية بشكل متعامد معها. يتجه المسلمون إذاً في حياتهم اليومية جسدياً وروحياً نحو الكعبة والمدينة المقدسة مكة منذ ما يقارب أربعة عشر قرناً(٢).

ابتكر الفلكيون المسلمون طرقاً لتحديد موقع القبلة حسابياً في أي مكان انطلاقاً من معطيات جغرافية متوفرة، معالجين موضوع هذا التحديد كمسألة من مسائل علم الجغرافيا الرياضية. وهذا ما تقوم به السلطات الإسلامية حالياً. غير أن الطرق الرياضية لم تكن سهلة المنال عند المسلمين قبل نهاية القرن الثامن أو بداية القرن التاسع. يضاف إلى ذلك، أن القبلة المحددة حسابياً لم تلق، على كل حال، تطبيقاً شاملاً حتى في العصور اللاحقة. وهذا ما تظهره مباشرة دراسة اتجاهات المساجد في القرون الوسطى، التي لم تكن إجمالاً موجهة بشكل صحيح نحو مكة المكرمة، أو على الأقل لم تكن موجهة وفق التحديد العلمي للقبلة. وكانت الطرق المستخدمة عادة لإيجاد القبلة مشتقة من علم الفلك الشائع. فلقد استخدمت الجهات الأساسية التي ثبتها التقليد الديني، كما استخدم الشروق والغروب الفلكيان. اعتمد المسلمون، إذاً، وجهات نظر حول الاتجاه المقدس تختلف عن تلك التي اعتمدها اليهود والمسيحيون الذين فضلوا بشكل عام الصلاة باتجاه الشرق. وقد كان لهذا التطور المستقل سبب موجب.

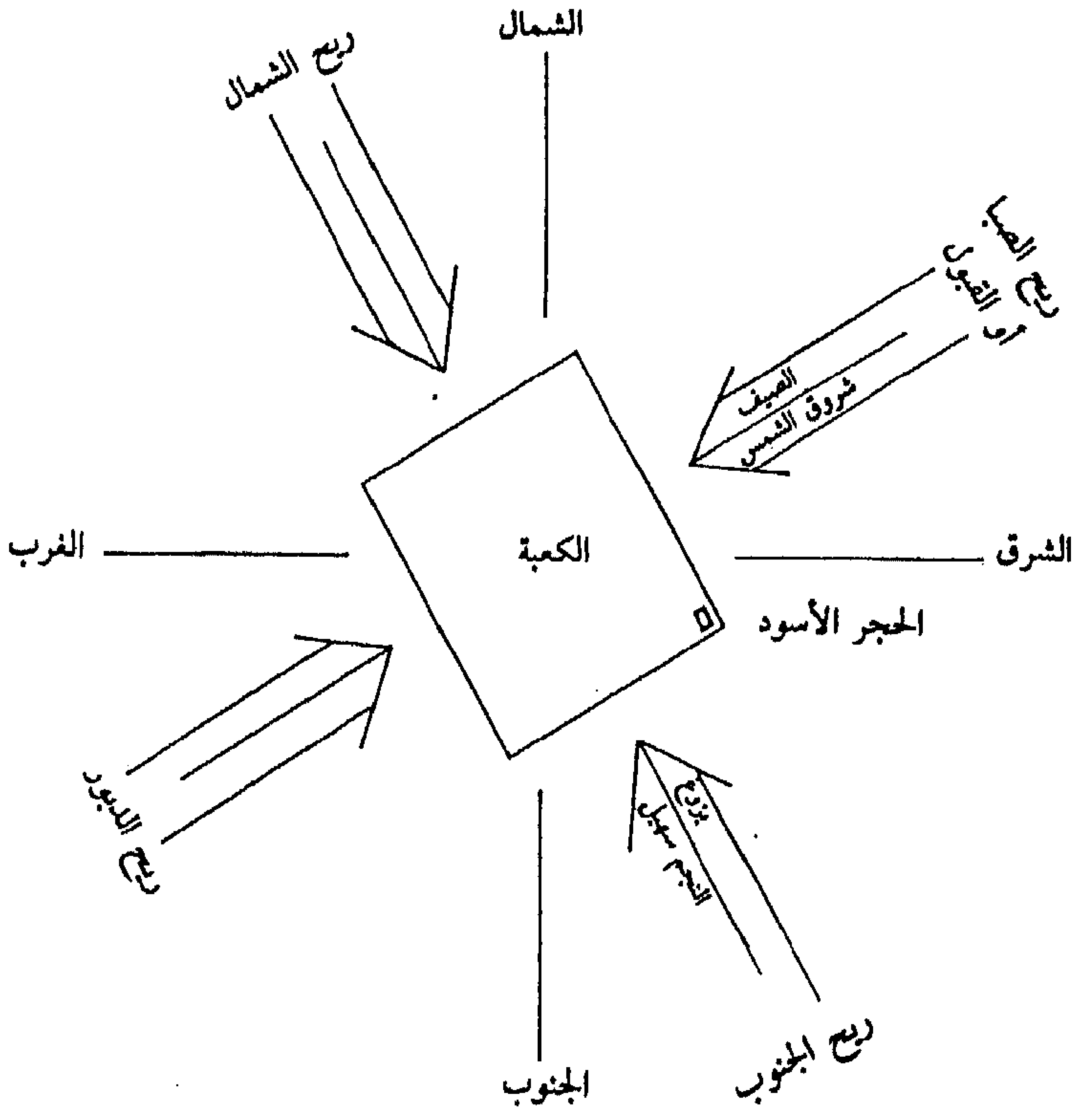
اتجاه الكعبة

إن الكعبة نفسها موجهة فلكياً، أي أن قاعدتها المستطيلة موجهة وفقاً لاتجاهات فلكية لها دلالتها. وتعود أقدم الروايات المدونة التي تتطرق إلى مسألة الاتجاه الفلكي للكعبة إلى القرن السابع، وقد نسبت هذه الروايات إلى بعض صحابة النبي (ﷺ). وتوحي النصوص بأن المحور الكبير موجه نحو بزوغ النجم سهيل، الأكثر إشراقاً في نصف الكرة الجنوبي، وبأن المحور الصغير موجه نحو شروق الشمس في الانقلاب الصيفي. هذان الاتجاهان هما تقريباً متعامدان في خط عرض مكة المكرمة (انظر الشكل رقم (٤ ـ ١)). وتؤكد الخرائط

---

(٢) حول الطرق الشائعة لتحديد القبلة، انظر: G. S. Hawkins and David A. King, «On the Orientation of the Ka'ba,» *Journal for the History of Astronomy*, vol. 13 (1982), pp. 102 - 109.
حول مفهوم عالم مقسم حول الكعبة، انظر: David A. King, «The Sacred Geography of Islam,» in: *Islamic Art*.

الحديثة للكعبة وللجبال المحيطة بها، والمبنية على التصوير الجوي، المعلومات الأساسية التي تقدمها النصوص العائدة للقرون الوسطى.



الشكل رقم (٤ ـ ١)

اتجاه فلكي للكعبة، ورد ذكره في العديد من النصوص العربية التابعة للقرون الوسطى، وأكده الباحثون المعاصرون. وتصميم الرياح المرتبط بهذا الاتجاه والمبين هنا، هو أيضاً قد وصف في مصادر القرون الوسطى.

تظهر هذه النصوص بوضوح أن المسلمين من الأجيال الأولى كانوا يعرفون أن الكعبة موجهة فلكياً، لذلك كانوا يستخدمون اتجاهات فلكية لكي يولوا وجوههم شطرها، عندما يكونون بعيدين عنها. وفي الواقع، فإنهم غالباً ما استخدموا، ليولوا وجوههم شطر الجزء الموافق من الكعبة، الاتجاهات الفلكية نفسها التي كان عليهم استخدامها فيما لو وُجدوا مباشرة مقابل هذا الجزء الخاص منها. ومن بين التصاميم المختلفة الشائعة للرياح، هناك واحد يربط بين الرياح الأربع الأصلية والأسوار الأربعة للكعبة (انظر الشكل رقم (٤ ـ ١)).

لهذه الأسباب، استخدم المسلمون طوال فترة زادت على الألف عام وجهات لتحديد القبلة مبنية على ظواهر فلكية تحدث في الأفق وعلى اتجاهات الرياح.

اتجاهات المساجد الأولى(٣)

قال النبي محمد (ﷺ) عندما كان في المدينة: «ما بين المشرق والمغرب قبلة»، وصلى هو نفسه مباشرة نحو الجنوب باتجاه مكة. فاعتمد بعض المسلمين الجنوب كاتجاه للقبلة أينما كانوا وذلك تيمناً بالنبي (ﷺ)، مفسرين ملاحظته على أن القبلة تقع مباشرة نحو الجنوب، حيثما كان المكان. لذلك، عندما شيد الجيل الأول من المسلمين، أي الصحابة، المساجد من الأندلس إلى آسيا الوسطى، كان بعضها متجهاً نحو الجنوب، مع أن ذلك قلما كان مناسباً في الأماكن البعيدة جداً، الواقعة نحو الشرق أو الغرب من خط زوال مكة. ويشهد على هذه الممارسة بعض المساجد من الأندلس حتى آسيا الوسطى. ويمكننا مقارنة اتجاه المساجد هذا مع اتجاه الكنيسة والكنيس نحو الشرق.

---

(٣) حول المسائل التي تتطرق إلى اتجاه العمارة الدينية في قرطبة والقاهرة وسمرقند، انظر:
David A. King: «Some Medieval Values of the *Qibla* at Cordova,» *Journal for the History of Arabic Science,* vol. 2 (1978), pp. 370 - 387, reprinted in: David A. King, *Islamic Astronomical Instruments* (London: Variorum Reprints, 1986), XV; «Al-Bazdawī on the *Qibla* in Early Islamic Transoxiana,» *Journal for the History of Arabic Science,* vol. 7, nos. 1 - 2 (1983), pp. 3 - 38, and «Architecture and Astronomy: The Ventilators of Medieval Cairo and their Secrets,» *Journal of the American Oriental Society,* vol. 104 (1984), pp. 97 - 133.

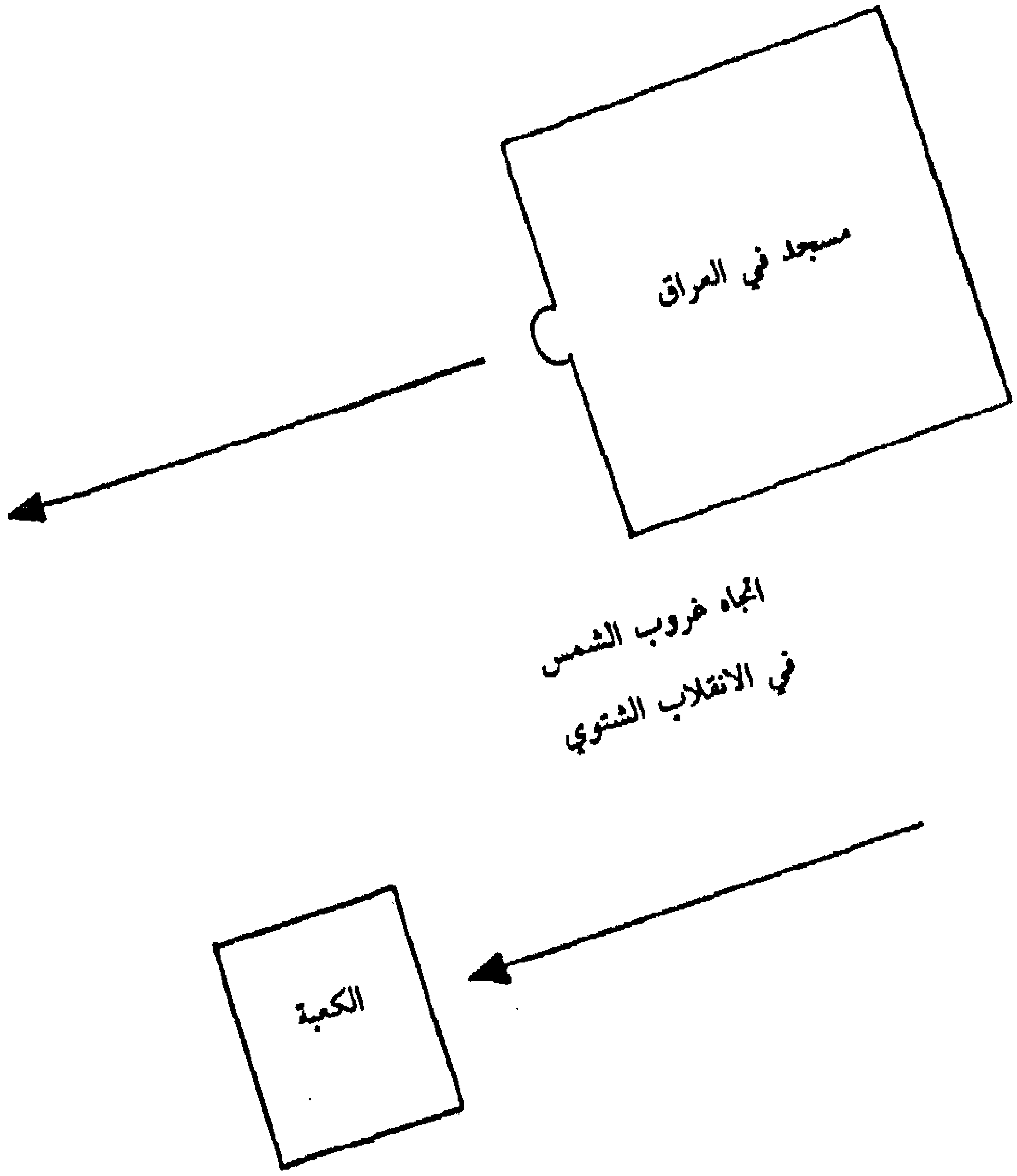
انظر أيضاً: F. E. Barmore, «Turkish Mosque Orientation and the Secular Variation of the Magnetic Declination,» *Journal of Near Eastern Studies,* vol. 44 (1985), pp. 81 - 98,
التي هي أول (والوحيدة) دراسة منهجية عن اتجاه المساجد في منطقة معينة.

لم توح فيما بعد بممارسة الرسول وحدها إلى المسلمين، بل تم أيضاً الاقتداء بممارسة صحابته. فالنبي (ﷺ) قال: «أصحابي كالنجوم، بأيهم اقتديتم اهتديتم». لذلك بقيت القبلات، التي اعتمدها الصحابة في مختلف أجزاء العالم الإسلامي الجديد، شائعة خلال العصور اللاحقة. ففي سوريا وفلسطين جرى اعتماد الجنوب التام كاتجاه للقبلة، ولاحقاً أصبح هذا الاتجاه القبلة الجائزة بوجه عام، في هذين البلدين. تملك هذه القبلة ميزة مزدوجة، فالرسول استخدمها وصحابته كذلك. أما في أجزاء أخرى من العالم الإسلامي، فقد اعتمد الجيل الأول من المسلمين اتجاهات غير الجنوب التام لأسباب سنذكرها فيما بعد.

أما خارج شبه الجزيرة العربية، فقد تم تشييد بعض المساجد الأولى في مواقع صروح دينية كانت قائمة في السابق، كما تم تحويل بعض الصروح السابقة إلى مساجد. ففي القدس مثلاً، شُيد المسجد الأقصى في العام ٧١٥م في موقع المعبد المستطيل، وتم توجيه محرابه وفقاً للمحور الكبير لمجمل البناء، بحيث إنه كان موجهاً تقريباً نحو الجنوب. لذلك بقي هذا الاتجاه القبلة المفضلة في القدس خلال العصور اللاحقة، حتى عندما حدد الفلكيون حسابياً، انطلاقاً من المعطيات الجغرافية المتوفرة، أن القبلة في القدس تقع تقريباً على 45° نحو الشرق انطلاقاً من الجنوب.

كذلك حوالى سنة ٧١٥م، تم تحويل الكاتدرائية البيزنطية في دمشق إلى مسجد؛ والكاتدرائية نفسها كانت سابقاً معبداً وثنياً موجهاً وفق الاتجاهات الأساسية، وذلك وفق التقليد المتبع في تخطيط الطرق بزوايا قائمة في المدن الإغريقية ـ الرومانية. وقد وضع المحراب في هذا المسجد الجديد في الحائط الجنوبي. وظل الاتجاه الجنوبي التام للقبلة مفضلاً في دمشق وذلك طيلة قرون عديدة، مع أن الفلكيين حددوا حسابياً أن القبلة في هذا المكان تقع على 30° نحو الشرق انطلاقاً من الجنوب. لذلك نجد أن أغلب مساجد القرون الوسطى في دمشق موجهة نحو الجنوب.

شيد أول مسجد في مصر باتجاه شروق الشمس في الانقلاب الشتوي، وبقي هذا الاتجاه الأكثر شيوعاً عند السلطات الدينية خلال القرون الوسطى. ومن ناحية أخرى، تم تشييد بعض أقدم المساجد في العراق باتجاه غروب الشمس في الانقلاب الشتوي. وقد تم اختيار هذه الاتجاهات بطريقة تجعل المساجد موجهة نحو أسوار محددة من الكعبة (انظر الشكل رقم (٤ ـ ٢)). فعلى امتداد مرحلة القرون الوسطى، كان شروق الشمس وغروبها في الانقلاب الشتوي مفضلين في مصر والعراق على التوالي، كنموذج عن قبلة الصحابة.



الشكل رقم (٤ ــ ٢)

في العراق، اعتمدت بعض السلطات كقبلة اتجاه غروب الشمس في الانقلاب الشتوي. وأحد الأسباب هو أن السور الشمالي ـ الشرقي للكعبة كان مقترناً بالعراق. وإذا وقفنا بمواجهة الحائط، فإننا بالفعل ننظر نحو غروب الشمس في الانقلاب الشتوي.

تحديد القبلة بطرق غير رياضية

هناك طرق عملية بسيطة لتحديد القبلة بواسطة الشمس والقمر والنجوم وحتى الرياح، معروضة في صفوف عديدة متنوعة من نصوص القرون الوسطى. وقد نتجت الطرق التي دعت إلى اتباعها هذه المصادر عن تصورات بني عليها التقليد العلمي الشائع الذي كان منتشراً بشكل واسع في العالم الإسلامي خلال مرحلة القرون الوسطى.

وقد وجد هذا التقليد الشائع في علم الفلك والأرصاد الجوية مصدره في شبه الجزيرة العربية قبل الإسلام. إلا أنه تطعم بالتقاليد المحلية كما بالتقاليد الهلينستية من العلم الشائع التي كانت متبعة في المناطق التي غزاها المسلمون في القرن السابع. وكان مختلفاً تماماً عن التقليد العلمي للفلكيين المسلمين، لكنه كان معروفاً ومألوفاً بشكل أوسع.

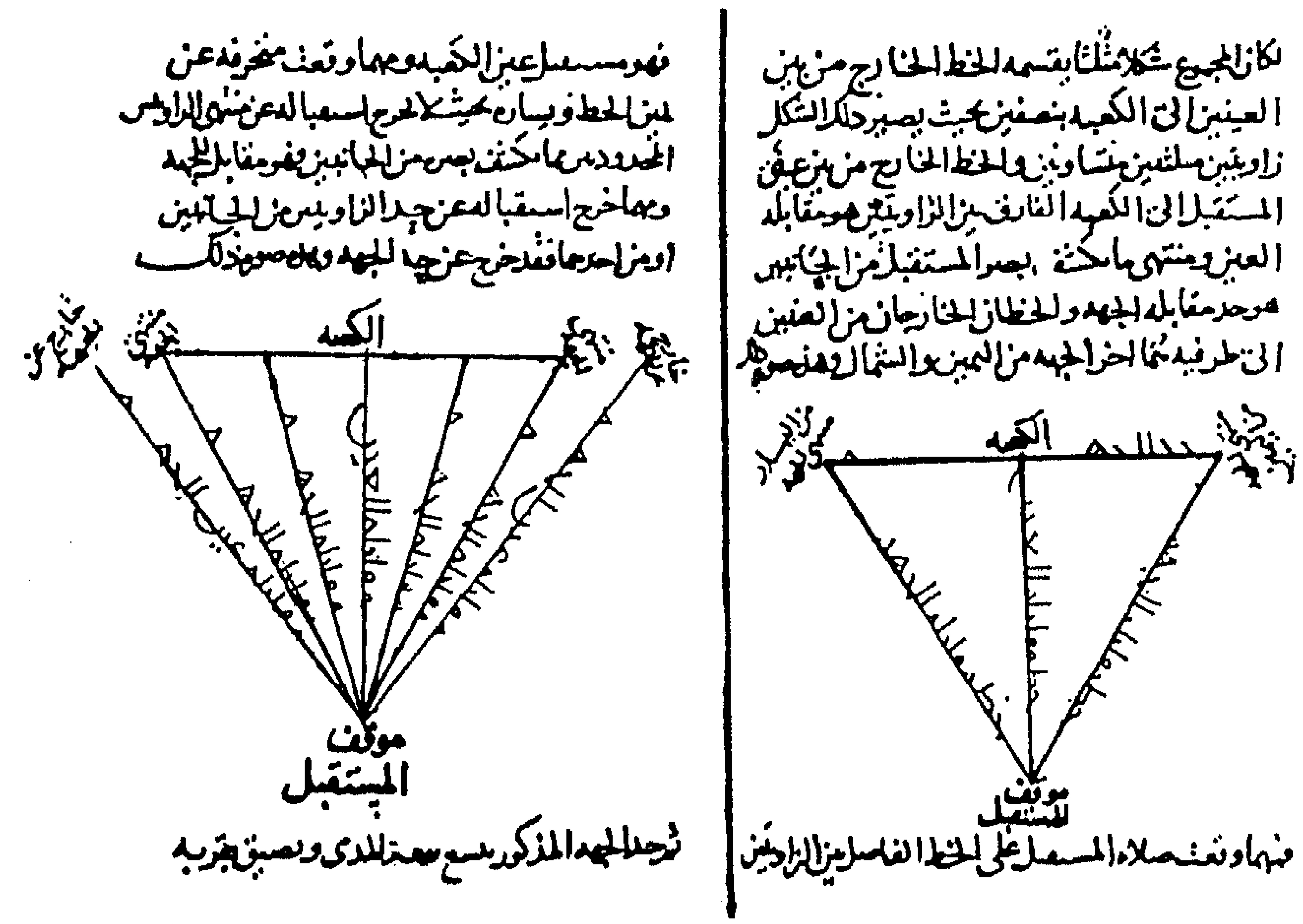
كانت هذه المعرفة الفلكية التي تأسست لأول مرة في القرون الأولى من العصر الإسلامي تطبق عند الحاجة في الممارسة الشائعة على مسائل عملية متعلقة بتنظيم التقويم الزراعي، وبضبط التقويم القمري والأعياد الدينية، وبحساب ساعات النهار بواسطة أطوال الظلال وساعات الليل بواسطة مواقع المنازل القمرية، وبتحديد اتجاه القبلة بالطرق غير الرياضية، وهذه المسألة الأخيرة هي التي تهمنا هنا. وما زال بعض عناصر هذه المعرفة الفلكية الشائعة يستخدم حتى يومنا هذا عند بعض التجمعات الزراعية في الشرق الأوسط.

يرتكز التقليد العلمي الشائع، خلافاً لـ «علم الفلك عند الأقدمين»، فقط على رصد الظواهر الطبيعية كالشمس والقمر والنجوم والرياح. وبما أن القرآن الكريم يقول ان هذه الأجرام السماوية وهذه الظواهر الطبيعية هي من صنع الله، وبما أنه يقول بخاصة إن على الناس أن يسترشدوا بالنجوم، لذلك لم يتعرض علم الفلك الشائع لنقد الفقهاء، خلافاً لعلم الفلك الرياضي والتنجيم.

وفي النصوص المذكورة أعلاه، تتحدد القبلة في مكان ما بواسطة ظاهرة فلكية تحدث في الأفق، كبزوغ أو أفول نجم بارز، أو كشروق أو غروب الشمس في الاعتدالين أو في الانقلابين. كما يتحدد اتجاه القبلة أيضاً بواسطة اتجاهات الرياح. وهذه النصوص ليست مصادر اقتبسها أو وضعها فلكيون، لكنها نصوص تتطرق إلى الفريضة الشرعية بالتوجه نحو الكعبة عند الصلاة، أو نصوص تعالج علم الفلك الشائع. إن هذه الطرق غير الرياضية لتحديد القبلة مذكورة عرضاً أو تبعاً للمناسبة في مؤلفات في الجغرافيا أو في التاريخ. وقد التزم الفلكيون من جهتهم الصمت بوجه عام حيال هذه العمليات غير الرياضية.

في مكان محدد، تبزغ وتأفل النجوم في نقاط ثابتة من الأفق. وفي الاعتدالين يحدد شروق وغروب الشمس الشرق والغرب، وفي الانقلابين تكون أمكنة شروق وغروب الشمس على 30° تقريباً من هذه المواقع الأصلية، باتجاه الشمال في الانقلاب الصيفي،

وباتجاه الجنوب في الانقلاب الشتوي. وتقول المصادر مثلاً، إن القبلة في الشمال ـ الغربي من أفريقيا هي في اتجاه شروق الشمس في الاعتدالين (شرق حقيقي). والقبلة في اليمن هي في الاتجاه الذي تهب منه ريح الشمال أو في اتجاه النجم القطبي (الذي لا يبزغ ولا يأفل، لكن موقعه يحدد الشمال). والقبلة في سوريا هي في اتجاه بزوغ النجم سهيل. والقبلة في العراق هي في اتجاه غروب الشمس في الانقلاب الشتوي. والقبلة في الهند هي في اتجاه غروب الشمس في الاعتدالين (غرب حقيقي).



الصورة رقم (٤ ـ ١)

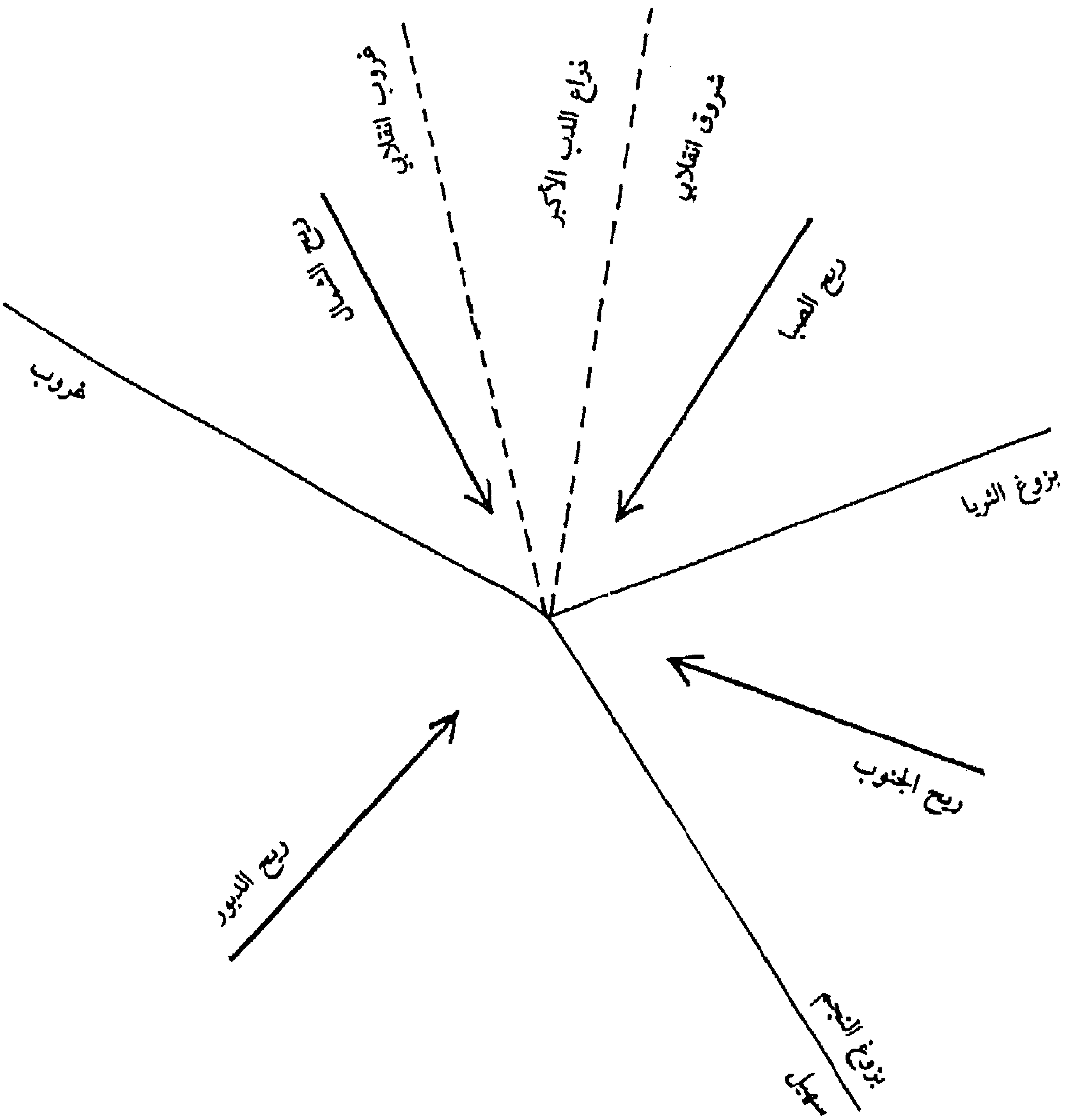
العمليتان العامتان لتحديد القبلة، اللتان أوصى بهما الفقهاء والمأخوذتان من نص شرعي مصري من القرن الثاني عشر للميلاد حول القبلة (أوكسفورد، مكتبة بودلين، مارش ٥٩٢، الورقتان ٢٣ظ ـ ٢٤و، نسخ بعد إذن مشكور من أمين متحف المخطوطات الشرقية).

إلا أن الوضع لم يكن تماماً بمثل هذه البساطة، لأن السلطات المختلفة كانت تقترح لتحديد القبلة في كل منطقة طرقاً مختلفة. وفي الواقع، دافعت أحياناً مدارس الفقهاء المختلفة عن قبلات متباعدة كلياً. ففي آسيا الوسطى، مثلاً، كانت إحدى مدارس

الفقهاء تفضل الغرب الحقيقي الذي كان يمثل اتجاه انطلاق الطريق نحو مكة، وكانت المدرسة المنافسة تفضل الجنوب الحقيقي، مستندة إلى الكلام المذكور أعلاه للنبي (ﷺ). هناك آخرون كانوا يفضلون قبلة الصحابة الذين شيدوا المساجد الأولى في المنطقة، أي في اتجاه غروب الشمس في الانقلاب الشتوي. بينما آخرون بالطبع كانوا يفضلون القبلة التي يحددها الفلكيون حسابياً.

وفي محاولة لحل هذه المسائل، اقترح بعض الفقهاء حلولاً تعتبر أن الوضع الأمثل للمؤمن هو الوضع الذي يسمح بالتقاء خط الرؤية مع الكعبة، على افتراض أن رؤيتها ممكنة بالفعل (على الرغم من أن ذلك مستحيل)، فأجازوا الصلاة في أي اتجاه يقع في حقل رؤية المؤمن الواقف في الوضع الأمثل (انظر الصورة رقم (٤ ـ ١)). إن التعبيرين العربيين «جهة الكعبة» و«عين الكعبة» المستخدمين لوصف هاتين الحالتين يعنيان «الواقف في اتجاه الكعبة مباشرة» و«الواقف في الاتجاه العام للكعبة». وبما أن حقل رؤية الإنسان هو أكبر بقليل من ربع الأفق، فإن الغرب الحقيقي والجنوب الحقيقي حددا، وفقاً لبعض السلطات على أية حال، القبلات الجائزة شرعياً في آسيا الوسطى. كذلك، فإن الشرق الحقيقي والجنوب الحقيقي حددا القبلات الجائزة بالنسبة إلى الفقهاء الأندلسيين الذين رأوا أن ربع محيط الدائرة الجنوبي ـ الشرقي يشكل بأكمله القبلة.

وكما ذكرنا في السابق، فإننا نجد أحياناً قبلات محددة بواسطة اتجاه الرياح، بدل أن يتم ذلك بواسطة ظواهر فلكية تحدث في الأفق. هنا يجب التذكر أن تصاميم عديدة للرياح، محددة بواسطة شروق وغروب الشمس أو النجوم، كانت تشكل جزءاً من علم الفلك الشائع والأرصاد الجوية في شبه الجزيرة العربية قبل مجيء الإسلام. وتتحدد حدود الرياح في هذه التصاميم المذكورة في مصادر إسلامية قديمة مختلفة، إما بواسطة بزوغ أو أفول نجوم أو مجموعة نجوم، مثل سهيل والثريا ونجوم ذراع الدب (التي تبزغ وتأفل تحت خطوط العرض الاستوائية)، أو بواسطة الاتجاهات الأصلية أو بواسطة شروق وغروب الشمس في الانقلابين (انظر الشكل رقم (٤ ـ ٣)). ويجمع أحد هذه التصاميم الأكثر رواجاً بين الرياح الأربع وأسوار الكعبة (انظر الشكل رقم (٤ ـ ١)). وعندما يتم اعتماد اتجاه ريح ما كقبلة، يفترض معرفة حدود الاتجاه من حيث تهب الريح، والحدود هذه محددة فلكياً.



الشكل رقم (٤ ـ ٣)

تصميم للرياح ذكره اللغوي الشهير ابن الأعرابي (أقام في الكوفة حوالى سنة ٨٢٥ م)، الذي هو على الأرجح من أصل عربي قبل الإسلام.

جغرافيا الإسلام المقدسة

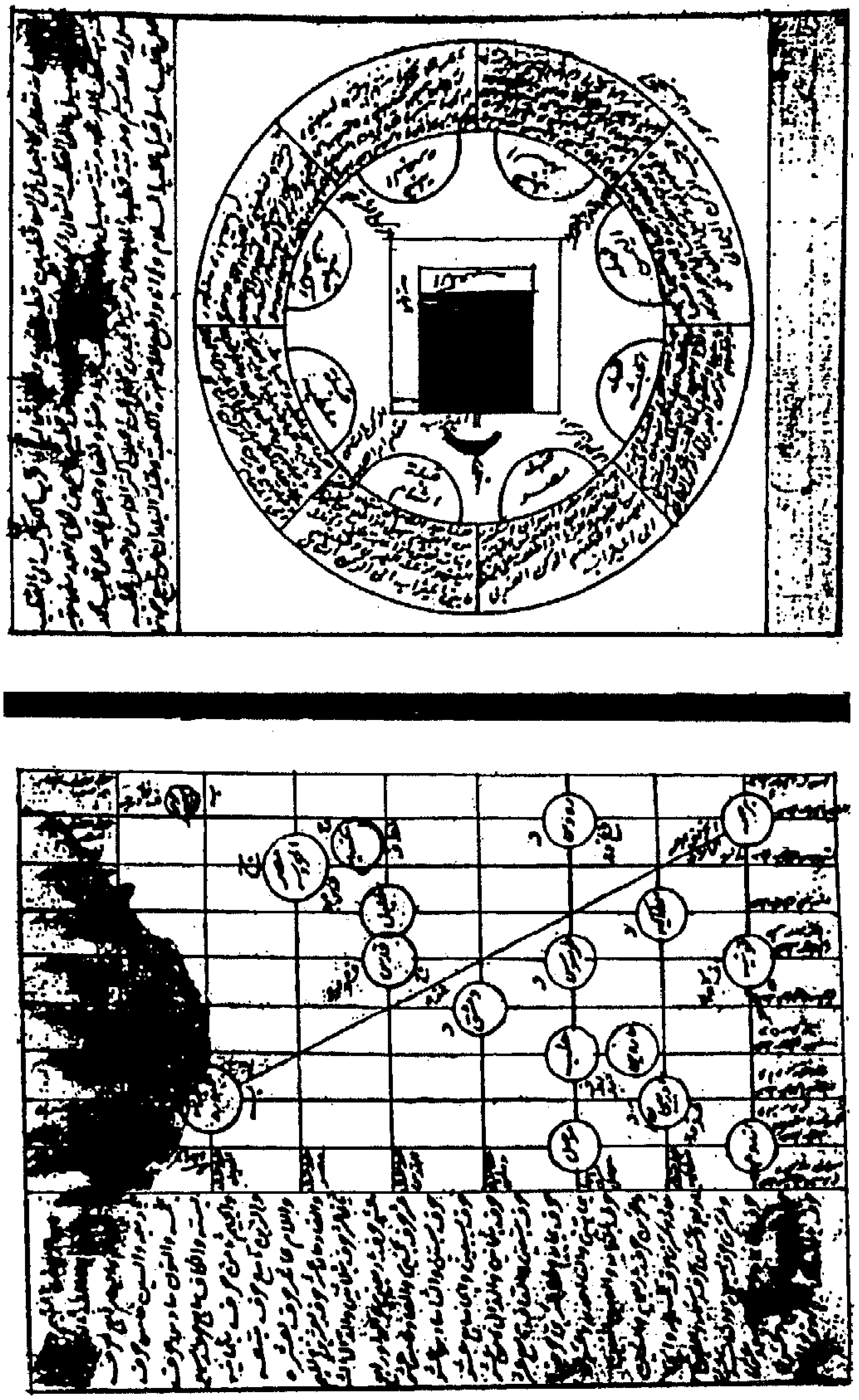
لقي مفهوم الجغرافيا المقدسة، الذي يقسم العالم إلى قطاعات حول الكعبة، حيث يواجه كل قطاع منها جزءاً محدداً من الكعبة، انتشاراً واسعاً في العالم الإسلامي إبان القرون الوسطى. ويملك هذا المفهوم الإسلامي عن عالم موجه حول الكعبة، مفاهيم موازية له في التقاليد اليهودية والمسيحية في القرون الوسطى عن عالم مركزه القدس. إلا أن المفهوم الإسلامي أشد تعقيداً.

إن مثالاً عن تصميم إسلامي ينتمي إلى هذا التقليد هو مبين على الصورة رقم (٤ ـ ٢)، المأخوذة من مخطوطة مصرية تعود إلى القرن الثامن عشر. غير أن التصميم نفسه أقدم بكثير ويعود على الأقل إلى القرن الثاني عشر. فالعالم، وفق هذه الصورة، مقسم إلى ثمانية قطاعات حول الكعبة، والمحراب في كل قطاع يواجه جزءاً معيناً من محيطها. وقد شرح الفقيه المصري الدمياطي في القرن الثاني عشر هذا التصور فذكر أن القبلة، بالنسبة إلى الأجزاء المأهولة في العالم، هي كمركز دائرة بالنسبة إلى الدائرة. فكل المناطق تواجه الكعبة وتحيط بها كما تحيط الدائرة بمركزها، وكل واحدة من هذه المناطق تواجه قسماً معيناً من الكعبة.

تمثل الكعبة نفسها ميزات متنوعة كانت ملائمة لإعداد تصاميم خاصة. فطالما أن هذا الصرح يملك أربع جهات وأربع زوايا، فإن تجزئة العالم إلى أربعة أو ثمانية قطاعات حوله كانت أمراً طبيعياً. وقد تم فعلاً اقتراح تصاميم بأربعة أو ثمانية قطاعات. ومع ذلك، نرى في تصاميم أخرى أن القطاعات قد تم ربطها بأقسام من محيط الكعبة، حيث قسمت الأسوار بواسطة بعض عناصرها، كبئر السور الشمالي ـ الغربي وباب السور الشمالي ـ الشرقي.

وفي التصميم الموضح على الصورة رقم (٤ ـ ٢)، يتحدد الاتجاه الذي يجب أن ينظره المؤمن، الموجود في أي قطاع من قطاعات العالم، إما بواسطة بزوغ أو أفول نجم بارز أو مجموعة نجوم، أو بواسطة اتجاه إحدى الرياح. وفي تصاميم أخرى مشابهة، تتحدد القبلة بواسطة الاتجاهات الأصلية، أو بواسطة شروق أو غروب الشمس في الانقلابين. وتحدد اتجاهات شروق الشمس وغروبها، في الانقلاب الصيفي وفي الانقلاب الشتوي وفي الاعتدالين مع نقاط الشمال والجنوب، ثمانية قطاعات (غير متساوية) على الأفق؛ كما تحدد أيضاً مع الاتجاهات العمودية على اتجاهات الانقلابين اثني عشر قطاعاً (متساوية تقريباً). وقد استخدم هذان النوعان من التصاميم بثمانية قطاعات وبإثني عشر قطاعاً في جغرافيا الإسلام المقدسة.

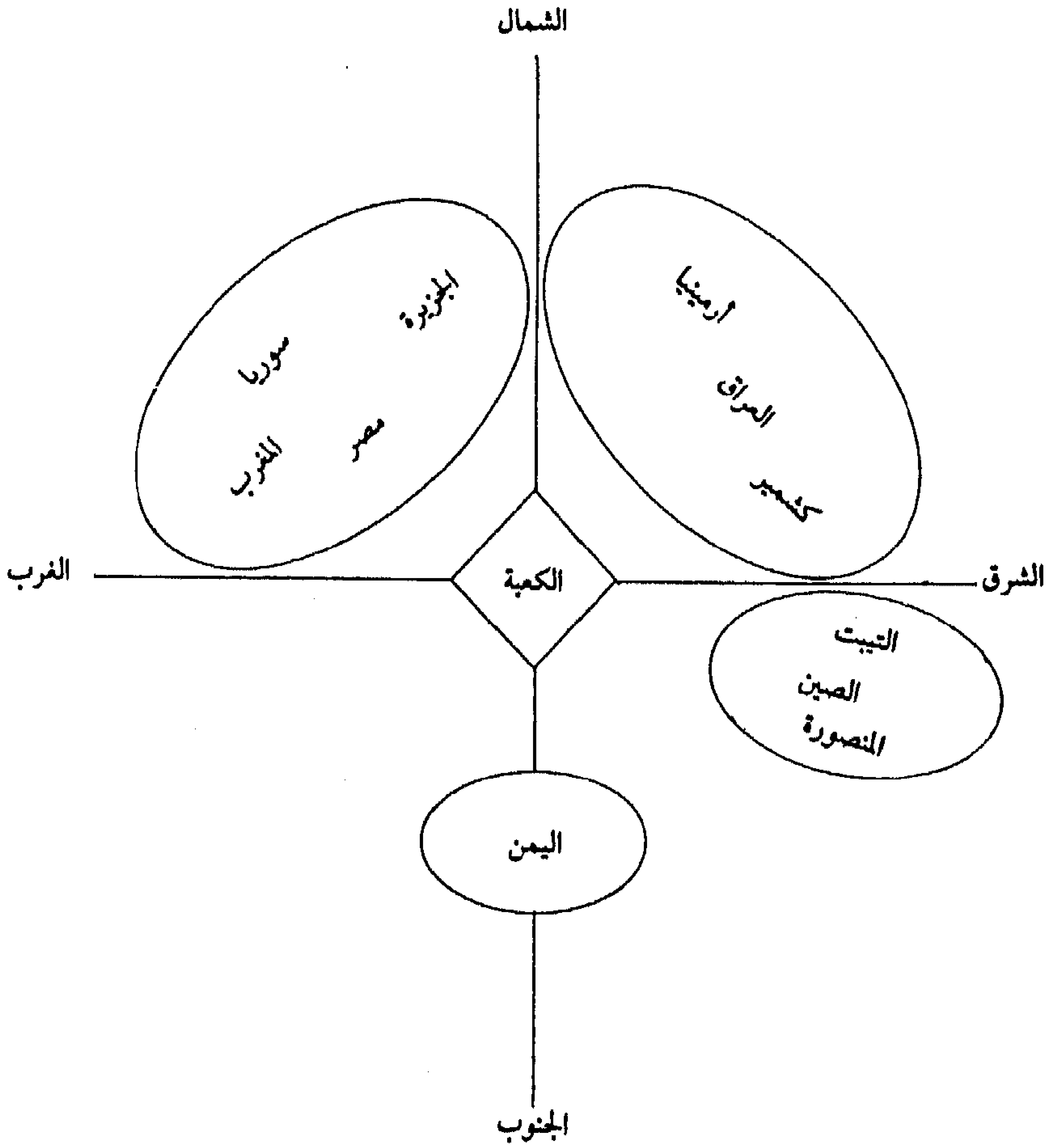
إن مصادر إلمامنا بهذا التقليد في الجغرافيا المقدسة هي مؤلفات في علم الفلك الشائع، ومؤلفات في علم الفلك الرياضي (وبالأخص أنواع التقاويم التي كانت تصدر سنوياً)، ومؤلفات في الجغرافيا، وموسوعات، ونصوص تاريخية، وأخيراً نصوص تعالج أحكام الشريعة وهي لا تقل أهمية عن غيرها. وبالنسبة إلى التصاميم، فقد كانت مبينة أحياناً بواسطة كلمات وأحياناً أخرى بواسطة رسوم بيانية. إن عدد المصادر، التي تم العثور عليها والتي تؤكد وجود هذا التقليد، يزيد على الثلاثين مؤلفاً. وقد وضعت في الفترة الواقعة ما بين القرن التاسع والقرن الثامن عشر للميلاد. ومن بين هذه المؤلفات خمسة فقط تم نشرها، في حين بقيت المصادر الأخرى بشكل مخطوطات. ونحن على ثقة تامة بأن عدداً أكبر من الأعمال التي تعالج هذا الموضوع قد تم وضعه، ولم يحفظ بين المصادر المخطوطة التي نمتلكها في الوقت الراهن.



الصورة رقم (٤ ـ ٢)

رسمان بيانيان مأخوذان من مؤلف عثماني عن السحر والتصوف والفلك الشائع. إلى اليمين، تصميم قديم من الجغرافيا المقدسة بثمانية قطاعات. إلى اليسار، شبكة من خطوط الطول والعرض، حيث هي مبينة الكعبة والمواقع المختلفة: يمكن إيجاد قيمة تقريبية للقبلة بقياس انحراف الخط الذي يجمع الموقع المذكور مع الكعبة، والانحراف يكون بالنسبة إلى خط الزوال (القاهرة، طلعت مجاميع ٨١١،٧، الورقتان ٦٠ظ ـ ٦١و، نسخ بعد إذن مشكور من مدير المكتبة الوطنية المصرية).

إن أقدم تصميم جغرافي معروف يتخذ من الكعبة مركزاً له، هو تصميم بسيط بأربعة قطاعات مبين في نص (منشور) من جغرافيا ابن خرداذبه، العالم البغدادي من القرن التاسع للميلاد (انظر الشكل رقم (٤ ـ ٤)). وهناك مخطوطة من جغرافيا المقدسي، الذي ولد في القرن العاشر للميلاد، وهي تحتوي على تصميم مشوش يتضمن ثمانية قطاعات، وقد حُرّف بسبب أخطاء النساخ. ومما لا شك فيه أن التصميم لم يكن عملاً أصيلاً للمقدسي. وهو يعود على الأرجح إلى مؤلف آخر سابق للمقدسي.

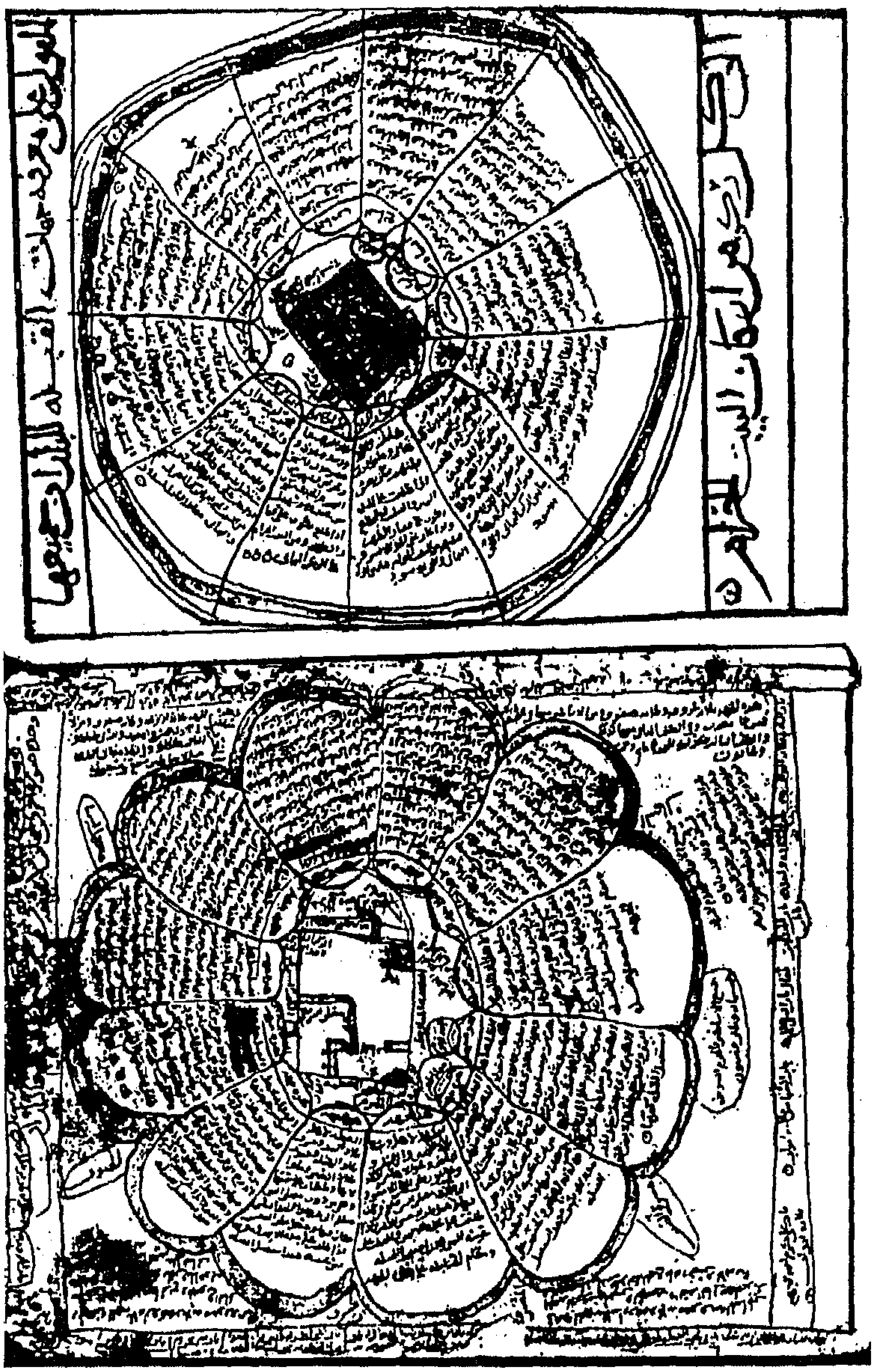


الشكل رقم (٤ ـ ٤)
تصميم بسيط في الجغرافيا المقدسة مقترن باسم ابن خرداذبه.

وأعد الفقيه ابن سراقه من القرن العاشر للميلاد، وهو يمني الأصل تلقى علومه في العراق، نظاماً أكثر تطوراً في الجغرافيا المقدسة. فقد وضع ثلاثة تصاميم مختلفة بثمانية قطاعات وبأحد عشر وبإثني عشر قطاعاً حول الكعبة. لكن أعماله حول هذا الموضوع لم تسلم في شكلها الأصلي، إلا أن تصاميمه وردت في مؤلفات مختلفة لاحقة. إن تعليماته لتحديد القبلة في أي منطقة من المناطق المختلفة حول الكعبة مفسرة بالتفصيل دون أي رسم بياني. ففي كل منطقة يشرح كيف يتوجب الوقوف بالنسبة إلى بزوغ أو أفول أربعة أنجم ما، وكذلك بالنسبة إلى رياح أربع. فعلى سبيل المثال، يجب على سكان العراق وإيران أن يقفوا بحيث تبزغ وتأفل نجوم الدب الأكبر وراء آذانهم اليمنى؛ وأن تبزغ مجموعة نجوم برج الجوزاء تماماً وراء ظهرهم؛ وأن تعصف ريح الشرق على كتفهم الأيسر وأن تعصف ريح الغرب على خدهم الأيمن وهلم جرا. لكن نجوم الدب الأكبر، في الواقع، لا تبزغ ولا تأفل بالنسبة إلى الأمكنة الواقعة على هذا القدر من البعد نحو الشمال كالعراق وإيران. فهي تبدو في هذه الأمكنة قطبية. لذلك يبدو أن هذه التعليمات قد أعدت في الواقع لمكة. فعندما نقف في هذه المدينة وفق الوضع الذي حدده ابن سراقه، فإننا نتوجه في الواقع نحو شروق الشمس في الانقلاب الشتوي، مع أن ذلك لم يذكر بوضوح. إن الهدف النهائي لهذه العملية هو التوجه نحو السور الشمالي ـ الشرقي للكعبة.

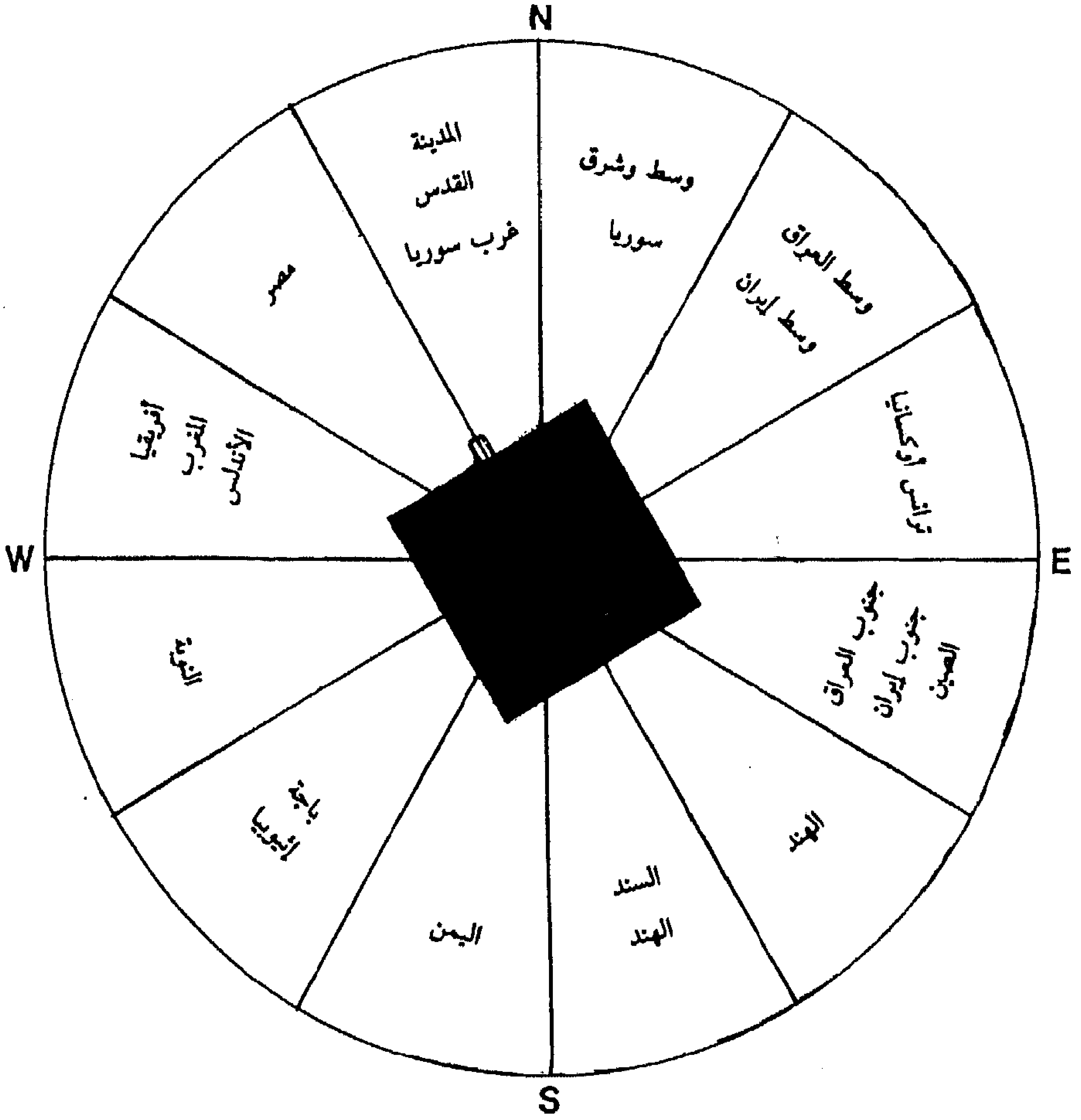
وفي التصميم بثمانية قطاعات، المبين على الصورة رقم (٤ ـ ٢)، تتحدد القبلة بواسطة نجوم تبزغ أو تأفل وراء ظهر الواقف باتجاه القبلة، وبواسطة النجم القطبي. وكانت هذه النجوم، هي النجوم التي يعتقد أنها تكون في مواجهة الواقف أمام الجزء المناسب من الكعبة وقد أدار ظهره إليها. وهناك نصوص فلكية وشرعية، مصرية ويمنية من القرنين الثاني عشر والثالث عشر للميلاد، تتضمن تصميمين مختلفين بإثني عشر قطاعاً، وأحدهما مأخوذ عن تصميم ابن سراقه. ويقدم أحد هذه المؤلفات اليمنية في علم الفلك الشائع التصميمين معاً (الرسوم البيانية مبينة على الصورة رقم (٤ ـ ٣)). وقد نسخ العديد من المؤلفين في القرون الوسطى، الذين انتشرت أعمالهم بشكل واسع في أجزاء مختلفة من العالم الإسلامي مثل الجغرافي ياقوت وعلماء الكونيات كالقزويني وابن الوردي، نسخوا هذه التصاميم بإثني عشر قطاعاً، لكنهم أسقطوا التعليمات الملحقة التي تسمح بتجديد القبلة (انظر الشكل رقم (٤ ـ ٥)).

هناك تصميم آخر موجود في الأطلس البحري للعالم التونسي السفاقصي من القرن السادس عشر. ويتميز هذا التصميم عن غيره باحتوائه أربعين محراباً حول الكعبة وبتطابقه مع دوارة للرياح متضمنة اثنين وثلاثين قسماً. وقد استخدم الملاحون العرب هذا الرسم لتحديد اتجاهاتهم بواسطة بزوغ وأفول النجوم (انظر الصورة رقم (٤ ـ ٤)).



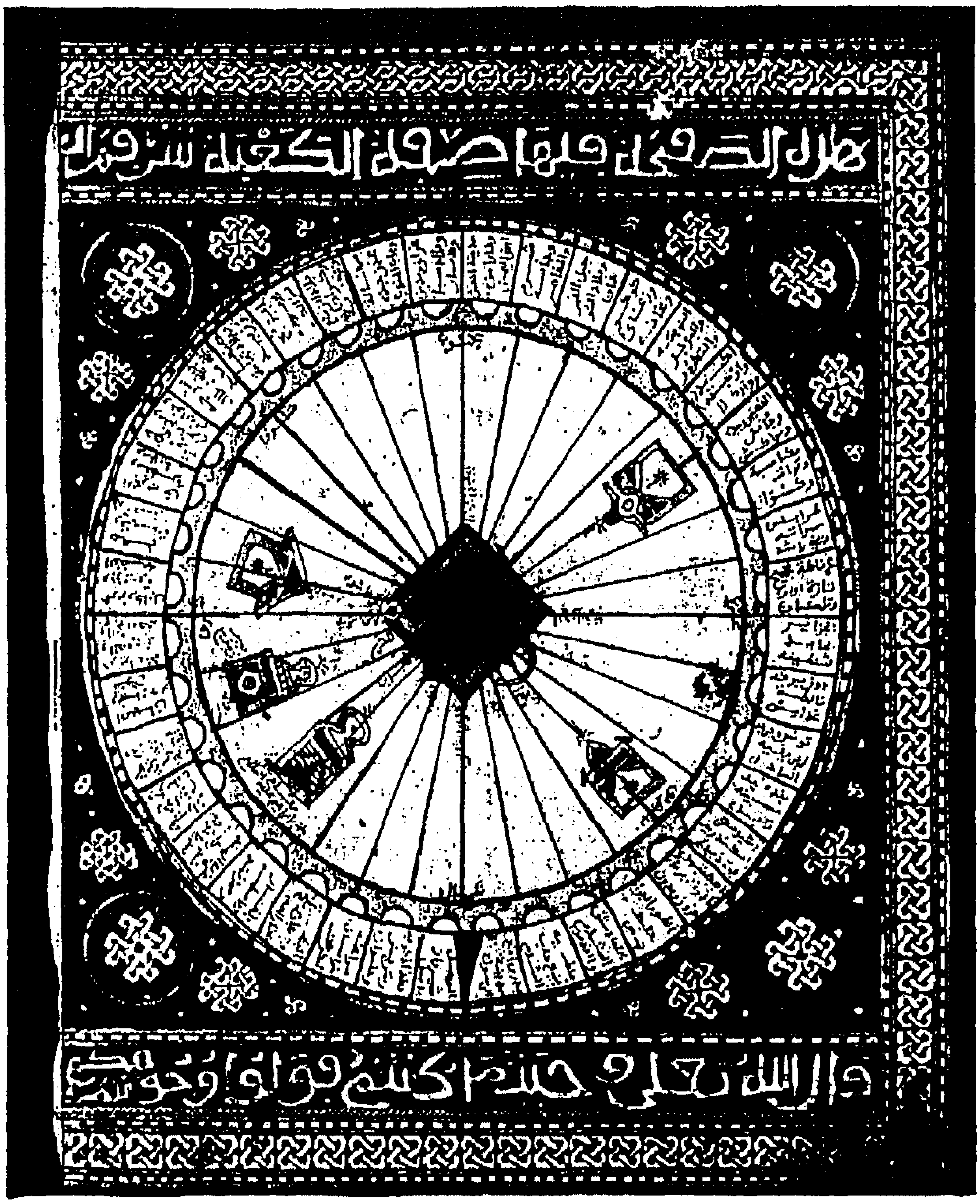
الصورة رقم (٤ ـ ٣)

تصميمان مختلفان من الجغرافيا المقدسة بإثني عشر قطاعاً، مع تعليمات كاملة لتحديد القبلة بواسطة ظواهر فلكية تحدث في الأفق. هذه الرسوم موجودة في مؤلَّف يمني في الفلك الشائع من القرن الثالث عشر للميلاد (Milan, Bibl. Ambrosiana, X 73 sup., non fol.)، نسخ بعد إذن مشكور من مدير المكتبة.



الشكل رقم (٤ ـ ٥)

نسخة مبسطة لتصميم في الجغرافيا المقدسة بإثني عشر قطاعاً لابن سراقه، كما صوره العديد من علماء الدراسات الكونية في نهاية القرون الوسطى.



الصورة رقم (٤ ـ ٤)

تصميم في الجغرافيا المقدسة بأربعين قطاعاً، مأخوذ من أطلس العالم الترنسي الصفاقسي، من القرن السادس عشر. هذا التصميم متطابق مع دوارة الرياح باثنين وثلاثين قطاعاً، والتي كان يستخدمها الملاحون العرب لتحديد اتجاهاتهم بواسطة بزوغ وأفول النجوم (باريس، المكتبة الوطنية، المقالة ٢٢٧٣، نسخ بعد إذن مشكور من مدير المكتبة الوطنية).

نشير أخيراً إلى أن أي تصميم جديد في الجغرافيا المقدسة لم يظهر في أي عمل معروف تم وضعه بعد القرن السادس عشر.

تحديد القبلة بالوسائل الرياضية(٤)

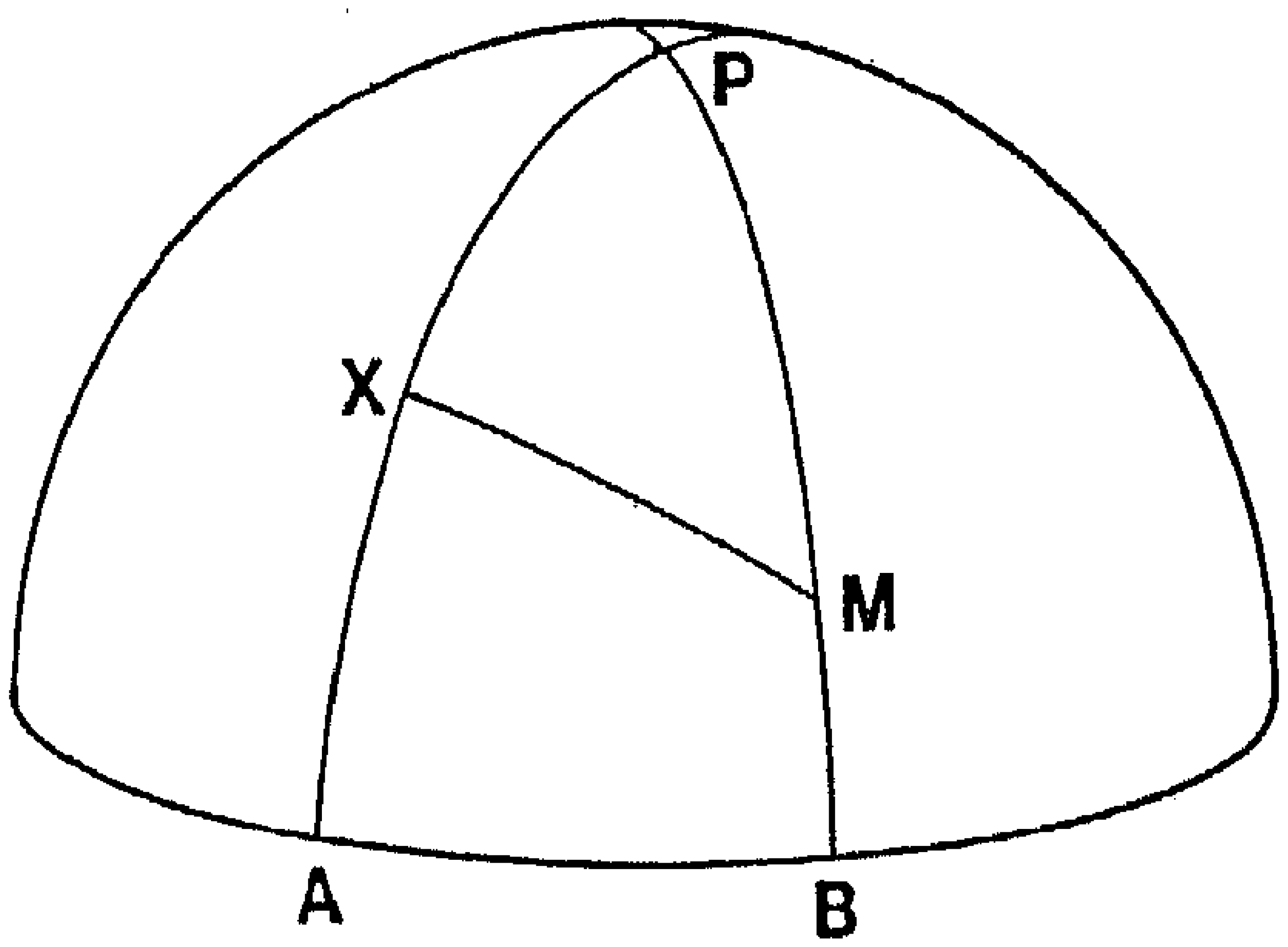
حدد الفلكيون المسلمون القبلة كاتجاه لدائرة كبرى مارة في مدينة مكة، ويتم قياس هذا الاتجاه بالزاوية المحددة بين خط زوال مكة وخط الزوال المحلي (انظر الشكل رقم (٤ ـ ٦)). وابتداءً من القرن التاسع، أجروا حساب اتجاه مكة لمناطق مختلفة. وتتطلب مثل هذه الحسابات معرفة خطوط العرض والطول، المأخوذة في البدء من جغرافية بطلميوس. كما تتضمن أيضاً تطبيقاً لصيغ من حساب المثلثات أو لإنشاءات هندسية معقدة، طورها المسلمون بدمج طرق يونانية وهندية. إن العمل الذي أتمه الفلكيون المسلمون في هذا المجال معروف بشكل لا بأس به في المصنفات الحديثة، فلقد تمت بشكل جيد دراسة وتحليل المحتوى الرياضي لطرق العديد من فلكيي القرون الوسطى.

---

(٤) حول أقدم العمليات الرياضية لتحديد القبلة، انظر: David A. King, «The Earliest Islamic Mathematical Methods and Tables for Finding the Direction of Mecca,» *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften,* Bd. 3 (1986), pp. 82 - 149, with corrections in: *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften,* Bd. 4 (1987).

هناك دراسات أخرى حول طرق علماء معينين موجودة في: Edward Stewart Kennedy and Y. Id, «A Letter of al-Bīrūnī: Ḥabash al-Ḥāsib's Analemma for the *Qibla,*» *Historia Mathematica,* vol.1 (1974), pp. 3 - 11, reprinted in: Edward Stewart Kennedy [et al.], *Studies in the Islamic Exact Sciences* (Beirut: American University of Beirut, ©1983), pp. 621 - 629; Karl Schoy: «Abhandlung des al-Ḥasan Ibn al-Ḥasan Ibn al-Haitham (alhazen) über die Bestimmung der Richtung der *Qibla,*» *Zeitschrift der Deutschen Morgenländischen Gesellschaft,* Bd. 75 (1921), pp. 242 - 253, and «Abhandlung von al-Faḍl b. Ḥātim al-Nayrīzī über die Richtung der *Qibla,*» *Sitzungsberichte der math. -phys. Klasse der Bayerischen Akademie der Wissenschaften zu München* (1922), pp. 55 - 68; J. L. Berggren: «A Comparison of Four Analemmas for Determining the Azimuth of the *Qibla,*» *Journal for the History of Arabic Science,* vol.4, no.1 (Fall 1980), pp. 49 - 80; «On al- Bīrūnī's Method of the *Zījes* for the *Qibla,*» paper presented at: *Proceedings of the XVI*[th] *International Congress for the History of Science* (Bucharest: [n. pb.], 1981), pp. 237 - 245, and «The Origins of al-Bīrūnī's Method of the *Zījes* in the Theory of Sundials,» *Centaurus,* vol. 28 (1985), pp. 1 - 16.

هناك دراسة أ. دلاّل (A. Dallal)، التي ستظهر حول معالجة ابن الهيثم الشاملة لمسألة القبلة بواسطة حساب المثلثات الكروي، انظر: Ahmad Dallal, «Al-Bīrūnī on Climates,» *Archives internationales d'histoire des sciences,* vol. 34 (1984), pp. 3 - 18.



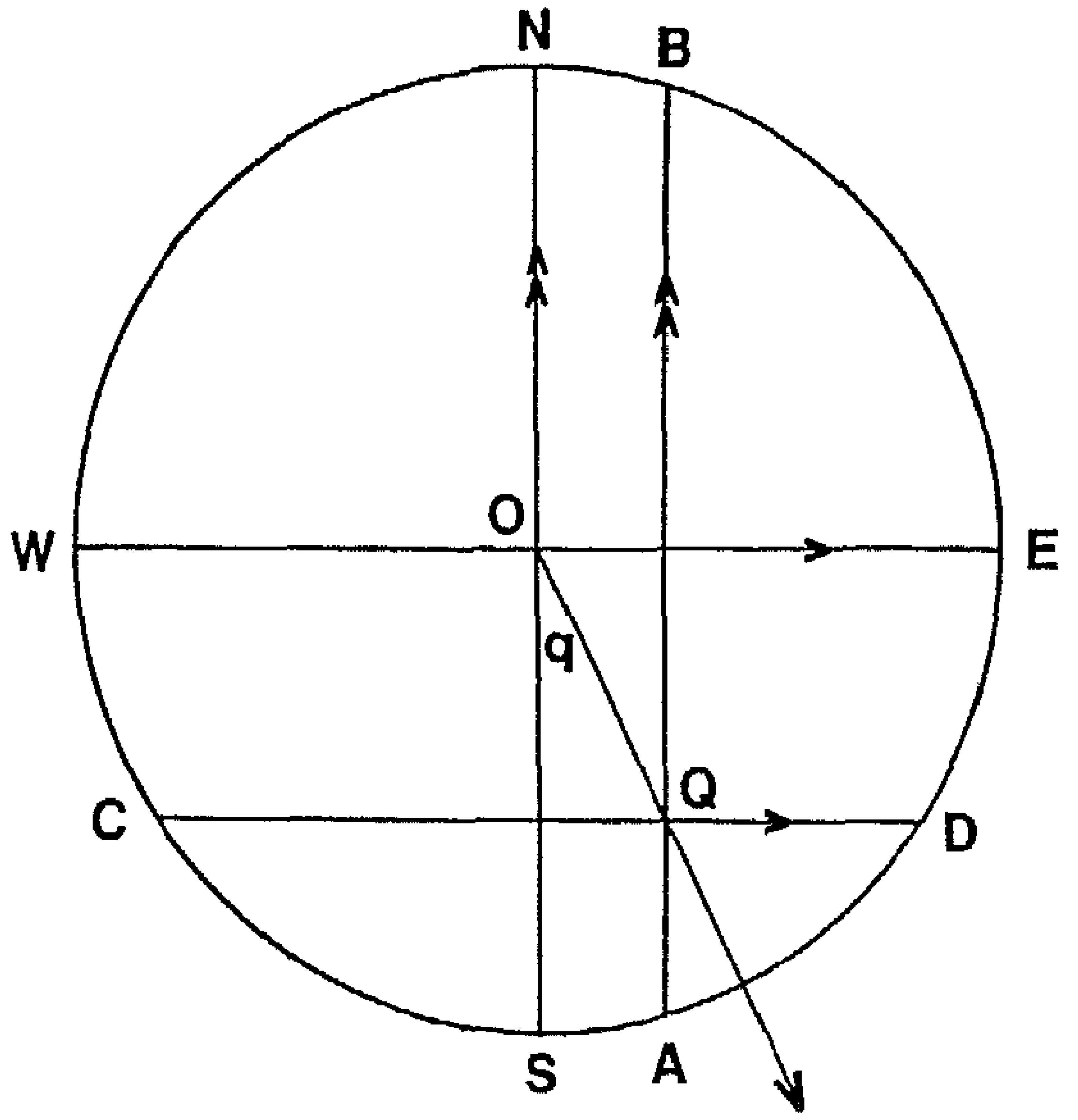
الشكل رقم (٤ ـ ٦)

مسألة القبلة على الكرة الأرضية. يرمز X إلى موقع ما، M إلى مكة، N إلى القطب الشمالي، الدائرة AB ترمز إلى خط الاستواء. خطوط عرض X وM هي φ = XA وφ_M = MB، فرق خط الطول بين الموقع ومكة هو AB = ΔL. تحدد الزاوية AXM القبلة q.

ويتضمن أغلب الموجزات الفلكية الإسلامية، المزودة بجداول (معروفة باسم الزيج وموضوعة وفق نموذج **المجسطي والجداول الميسرة** لبطلميوس)، فصلاً حول تحديد القبلة بواسطة مثل هذه العمليات الرياضية. كذلك وضعت مؤلفات مستقلة تتعلق فقط بمسألة القبلة. وكانت الحلول الأولى لهذه المسألة، والتي تعود إلى القرن التاسع إن لم يكن إلى القرن الثامن، تقريبية، ولكنها كانت كافية لتحديد القبلة بحيث لا تتجاوز قيمة الخطأ درجة أو درجتين، وذلك في أماكن بعيدة عن مكة كمصر وإيران.

تتطلب إحدى أقدم الطرق لتحديد القبلة، والمستوحاة من علم رسم الخرائط، تصوير المكان موضوع البحث ومكة على شبكة متعامدة مستوية من خطوط الطول والعرض. وتتطلب كذلك قياس اتجاه المقطع الذي يصل النقطتين (انظر الصورة رقم (٤ ـ ٢)). كما أن طرقاً رياضية تقريبية أخرى، بالإضافة إلى طريقة دقيقة ومعقدة، قد أخذت من الهندسة الفراغية، إلا أن أياً منها لم يستخدم بشكل واسع في القرون اللاحقة.

هناك طريقة أخرى تقريبية ذكرها البتّاني، استخدمت بشكل واسع وبقيت رائجة حتى القرن التاسع عشر، ولا يمكن تصور طريقة أخرى أبسط منها. لنرسم أولاً دائرة على مستوٍ أفقي ونبين الاتجاهات الأصلية (انظر الشكل رقم (٤ ـ ٧)) نرسم بعد ذلك خطاً موازياً لخط



الشكل رقم (٤ ـ ٧)

حل تقريبي لمسألة القبلة للبتاني. على دائرة الأفق NESW، يمثل SA فرق خط الطول ΔL وED فرق خط العرض $\Delta \varphi$. المقطعان AB وCD مرسومان بشكل متوازٍ مع NS وEW على التوالي، ويتقاطعان في Q: تمثل OQ عندئذ القبلة.

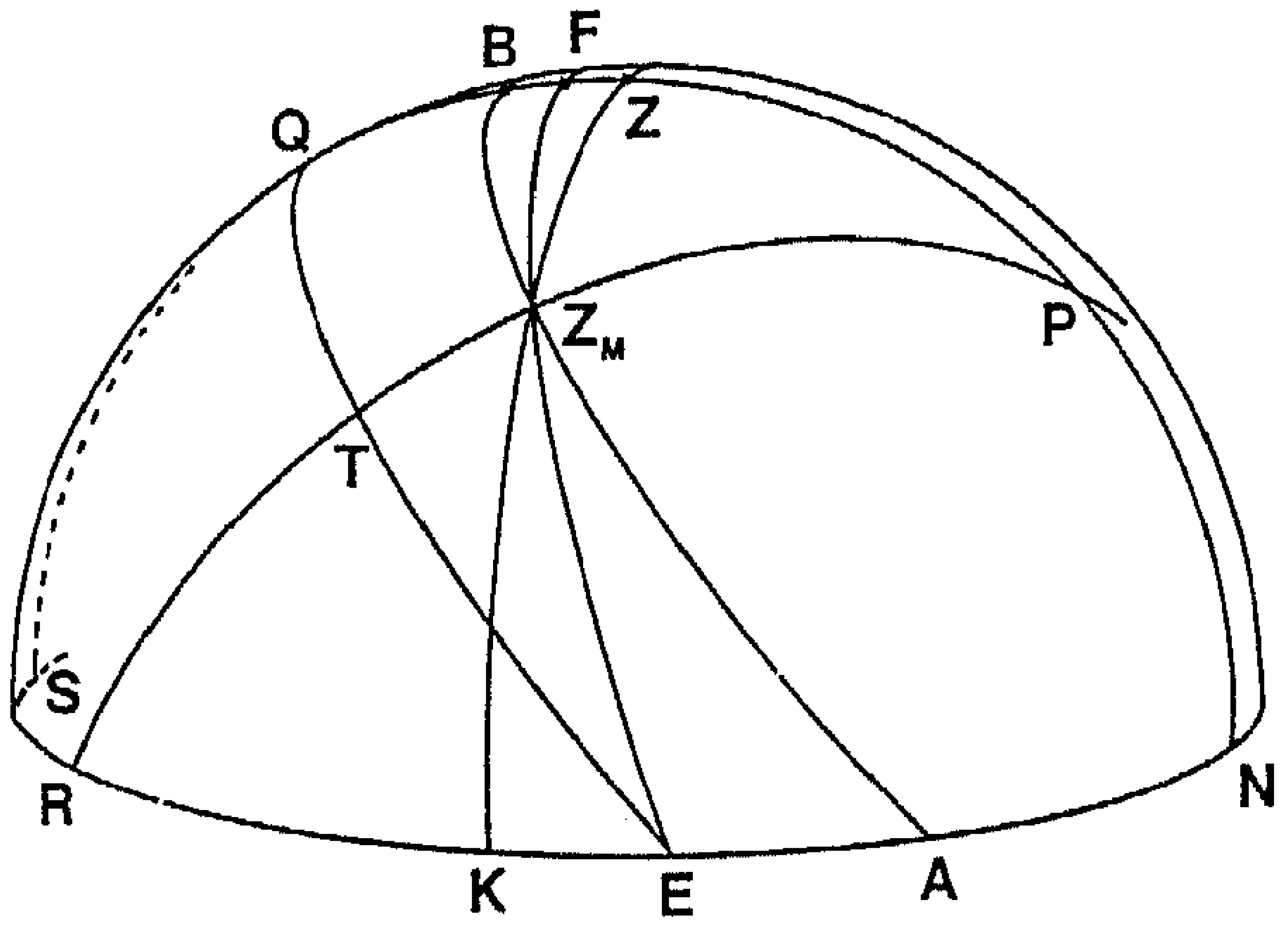
الشمال ـ الجنوب، على مسافة زاوية تقاس على الدائرة وتساوي فرق خط الطول ΔL بين مكة والمكان المذكور. ونرسم خطاً آخر موازياً لخط الشرق ـ الغرب على مسافة زاوية تساوي فرق خط العرض $\Delta \varphi = \varphi - \varphi_M$. إن الخط، الذي يجمع مركز الدائرة مع تقاطع هذين الخطين، يحدد القبلة q. هذه العملية هي معادلة لتطبيق الصيغة البسيطة:

$$tg\ q = \sin \Delta L / \sin \Delta \varphi$$

وذلك من أجل تحديد القبلة.

وقد أعدت في القرن التاسع والعاشر للميلاد عمليات دقيقة معقدة بواسطة الهندسة المستوية أو الهندسة الفراغية، أو بواسطة حساب المثلثات الكروي. فقد عالج أغلب علماء القرون الوسطى مسألة مكة كمسألة في الفلك الكروي، حيث ينبغي تحديد السمت لسمت الرأس الخاص بمكة على الأفق المحلي (انظر الشكل رقم (٤ ـ ٨)). في هذه العمليات يجب أولاً تحديد ارتفاع سمت الرأس الخاص بمكة، ومن ثم يصبح تحديد سمتها مسألة كلاسيكية في علم المثلثات الكروي. إن جميع هذه الطرق، في نهاية المطاف، معادلة لتطبيق الصيغة الحديثة لظل التمام في حساب المثلثات الكروي، الذي يعطينا:

$$cotg\ q = \{\sin \varphi \cos \Delta L - \cos \varphi\ tg\ \varphi_M\} / \sin \Delta L.$$



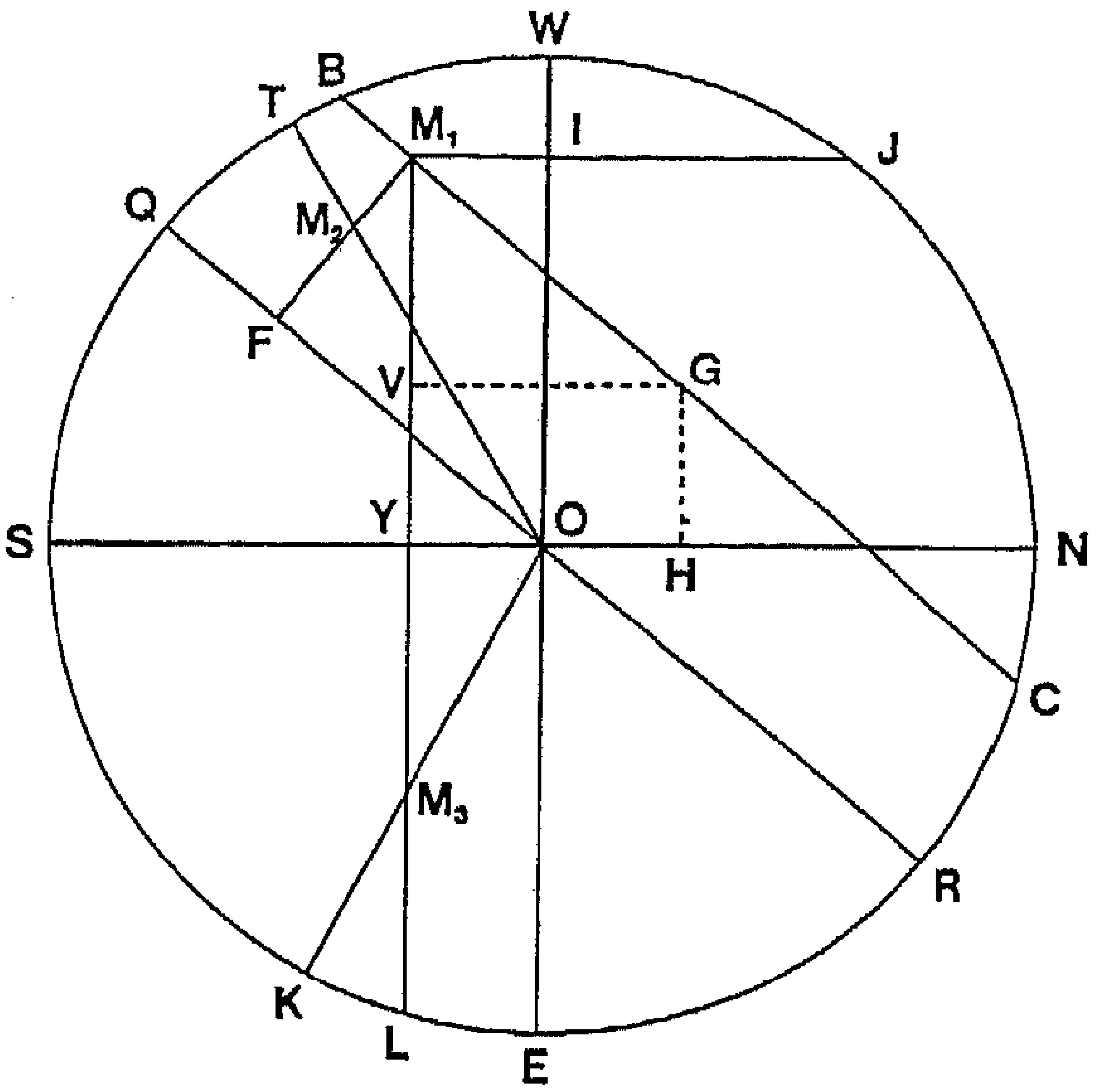
الشكل رقم (٤ ـ ٨)

مسألة القبلة منقولة إلى القبة السماوية (انظر الشكل رقم (٤ ـ ١٤) من القسم الثالث: علم الميقات). المطلوب تحديد السمت لسمت الرأس Z_M الخاص بمكة. المسألة رياضياً معادلة لمسألة تحديد سمت الشمس a، التي تملك ميلاً زاوياً هو δ، عندما تكون الزاوية الساعية t: بالنسبة إلى خط العرض φ، لدينا $\delta = \varphi_M$ و$t = \Delta L$ و$q = a$. من أجل حل هذه المسألة بطرق القرون الوسطى أولاً تحديد ارتفاع Z_M وهو h، ثم حساب السمت a الموافق، الذي هو القبلة. وفق طريقة النيريزي، نمدد PZ_M الذي يقطع خط الاستواء في النقطة T والأفق في النقطة R. وفق «طريقة الزيج»، نرسم ربع الدائرة EZ_MF.

ولأجل توضيح رشاقة طرق الإسقاط المستخدمة في العصور القديمة والقرون الوسطى، نورد هنا العملية الهندسية التي عرضها حبش الحاسب (أقام في بغداد والشام حوالى ٨٥٠م)، والتي تنتج عنها مباشرة الصيغة السابقة. تعود تعليماته إلى الشكل رقم (٤ ـ ٩)، (وقد تم إلى حد ما ضبط التأشير). نحدد على دائرة مركزها O الجهات الأصلية NWSE، ونحدد بعد ذلك الأقواس $WQ = \varphi$ و$QB = \varphi_M$ و$QT = \Delta L$. نرسم القطر QOR والوتر الموازي له، الذي تمثل G نقطة منتصفه. نحدد على OT النقطة M_2، بحيث يكون $OM_2 = GC$، ونرسم بعد ذلك العمود $M_2 M_1$ على BC. كما نرسم M_1L الموازي لـ WE، وM_1IJ الموازي لـ SN والذي يقطع WE في I والدائرة في J. أخيراً نضع على M_1L النقطة M_3، بحيث يكون $OM_3 = IJ$، ونمدد OM_3 الذي يقطع الدائرة في K. عندئذ يحدد OK القبلة.

يمكن تبرير هذا البناء بالطريقة التالية. أولاً، يمثل QOR وBGC مساقط خط الاستواء السماوي والحركة اليومية لسمت الرأس الخاص بمكة على مستوي الزوال الرأسي. ثم تمثل M_2 مسقط سمت الرأس الخاص بمكة على المستوي الاستوائي. وإذا طابقنا المستوي الاستوائي على مستوي الزوال الرأسي، فإن النقطة M_2 تقع في M_1 التي

تكون إذاً مسقط سمت الرأس الخاص بمكة على المستوي الاستوائي. يضاف إلى ذلك أن M_1IJ يشكل على هذا السطح مسقط المقنطرة (دائرة بارتفاع متساو) المارة بسمت الرأس الخاص بمكة، ونصف قطرها هو IJ. إن M_1I وIJ، علاوة على ذلك، يقيسان على التوالي المسافات من سمت الرأس الخاص بمكة إلى أول متسامتة، وإلى الخط الذي يجمع سمت الرأس المحلي مع النقطة O. أخيراً، باعتبار مستوي الشكل كمستوٍ للأفق، وبمقتضى البناء، تكون النقطة M_3 هي مسقط سمت الرأس الخاص بمكة على هذا المستوي، بحيث يحدد امتداد OM القبلة فعلاً.



الشكل رقم (٤ ـ ٩)

رسم بياني يمثل حل مسألة القبلة الذي عرضه حبش الحاسب. هذا النموذج من الحلول، الذي أخذه المسلمون من مصادر يونانية، معروف باسم analemme. إن مختلف المستويات، أي مستوي خط الزوال وخط الاستواء السماوي والأفق، تتمثل جميعها على مستوٍ واحد، أي مستوي الشكل.

وقد تم حل مسألة القبلة، من جهة أخرى، بواسطة حساب المثلثات الكروي (انظر الفصل الخامس عشر: علم المثلثات). فقد اقترح النيريزي (أقام في بغداد، حوالى سنة ٩٠٠م) الحل التالي الذي يستخدم أربعة تطبيقات لمبرهنة منلاوس (Menelaos)، التي يمكن وصفها بأنها غير عملية. على الشكل رقم (٤ ـ ٨) يجري على التوالي البحث عن الأقواس TR، SR، Z_MK وKS. نحدد أولاً TR معتبرين SRE كقاطع للمثلث TPQ. لدينا:

$$\sin PS / \sin SQ = [\sin PR / \sin RT] . [\sin TE / \sin EQ],$$

أي:

$$\sin (180° - \varphi) / \sin (90° - \varphi) = [\sin (90° + TR) / \sin TR] . [\sin (90° - \Delta L) / \sin 90°]$$

ثم نحدد SR معتبرين QTE كقاطع للمثلث RSP. لدينا:

$$\sin PQ / \sin QS = [\sin PT / \sin TR] . [\sin ER / \sin ES],$$

أي:

$$\sin 90° / \sin (90° - \varphi) = [\sin 90° / \sin TR] . [\sin ER / \sin 90°],$$

من هنا نستخلص ER و$SR (= 90° - ER)$.

ثم نحدد $Z_MK (= h)$ معتبرين SRK كقاطع للمثلث Z_MZP. لدينا:

$$\sin SP / \sin SZ = [\sin PR / \sin RZ_M] . [\sin Z_MK / \sin KZ],$$

أي:

$$\sin (180° - \varphi) / \sin 90° = [\sin (90° + TR) / \sin (TR + \varphi_M)] . [\sin Z_MK / \sin 90°].$$

أخيراً، نحدد $KS (= q)$، معتبرين SZP كقاطع للمثلث Z_MRK. لدينا:

$$\sin KS / \sin SR = [\sin KZ / \sin ZZ_M] . [\sin Z_MP / \sin PR],$$

أي:

$$\sin q / \sin SR = [\sin 90° / \sin (90° - h)] . [\sin (90° - \varphi_M) / \sin (90° + TR)].$$

استخدم الفلكيون المسلمون فيما بعد أيضاً قاعدة الجيوب وقاعدة الظلال لحل المسألة بطريقة هي من حيث الأساس مشابهة للسابقة. وكانت العملية الأكثر شيوعاً، والتي تستعين بحساب المثلثات الكروي، معروفة باسم «طريقة الزيج». وقد ذكرت في العديد من الأعمال، من القرن التاسع إلى القرن الخامس عشر. وتتطلب ببساطة تحديد السمت لسمت الرأس الخاص بمكة على خط الزوال ثم على خط الأفق المحلي. فعلى الشكل رقم (٤ ـ ٨)، نرسم EZ_MF المتعامد مع خط الزوال، ونحدد بذلك $Z_MF = \Delta L'$ و$QF = \varphi'$، وهما المسميان على التوالي اختلاف خط الطول المصحح وخط العرض المصحح. ونجد هاتين القيمتين بواسطة تطبيقين متواليين لقاعدة الجيوب، كما يلي: من المثلثات قائمة الزاوية $Z_MF P$ وTQP نستخلص:

$$\sin Z_MF / \sin TQ = \sin Z_MP / \sin TP,$$

أي:

$$\sin \Delta L' / \sin \Delta L = \sin (90° - \varphi_M) / \sin 90°.$$

من المثلثات قائمة الزاوية FQE وZ_MTE، نستخلص:

$$\sin FQ / \sin Z_MT = \sin FE / \sin Z_ME,$$

أي:

$$\sin \varphi' / \sin (90° - \varphi_M) = \sin 90° / \sin (90° - \Delta L').$$

ثم نحدد $FZ = \Delta\varphi' = \varphi - \varphi'$، المسمى فرق خط العرض المصحح. نشير إلى أن Z_MF وFZ هي إحداثيات Z_M بالنسبة إلى سمت الرأس Z على خط الزوال. نحدد بعد ذلك $Z_MK = h$ وأخيراً $KF = q$، وذلك مرة أخرى بتطبيق مكرر لقاعدة الجيوب نفسها، كما يلي. من المثلثات قائمة الزاوية Z_MKE وFSE، نستخلص:

$$\sin Z_MK / \sin FS = \sin Z_ME / \sin FE,$$

أي:

$$\sin (90° - h) / \sin (90° - \Delta\varphi') = \sin (90° - \Delta L') / \sin 90°.$$

ومن المثلثات قائمة الزاوية KSZ وZ_MFZ، نستخلص:

$$\sin KS / \sin Z_MF = \sin KZ / \sin Z_MZ,$$

أي:

$$\sin q / \sin \Delta L' = \sin 90° / \sin (90° - h).$$

وقد آثر بعض الفلكيين كابن يونس (أقام في القاهرة، حوالى سنة ٩٨٠م) حلولاً بواسطة طرق إسقاطية. في حين أن آخرين كأبي الوفاء (أقام في بغداد، حوالى سنة ٩٧٥م) آثروا حلولاً بواسطة حساب المثلثات الكروي. وقد كتب ابن الهيثم (أقام في القاهرة، حوالى سنة ١٠٢٥م) مؤلفين حول القبلة، حيث يعالج هذين الصنفين من الحلول. ويرتدي حله الشامل لمسألة القبلة بـ «طريقة الزيج»، حيث يدرس بشأنها ١٦ حالة ممكنة، أهمية رياضية بالغة. كما اقترح البيروني (أقام في آسيا الوسطى حوالى ١٠٢٥م) هذين الصنفين من الحلول.

وقد رصد الفلكيون منذ بداية القرن التاسع، وفي آن واحد، الخسوف في بغداد ومكة، من أجل قياس فرق خط الطول بين هاتين المدينتين، وذلك بهدف واضح هو تحديد القبلة في بغداد. وقد كرس البيروني مؤلفاً كاملاً لتحديد القبلة في مدينة غزنة

(حالياً في أفغانستان)[٥]، إذ استخدم طرقاً عديدة متنوعة لقياس فرق خط الطول بين مكة وغزنة، وأخذ المعدل الوسطي للنتائج، ثم أجرى بعد ذلك حساب القبلة بواسطة عمليات مختلفة دقيقة. ويعتبر مؤلَّفه أثراً نموذجياً في الجغرافيا الرياضية وفي المنهج العلمي.

وابتداءً من القرن التاسع، أجرى أيضاً فلكيون مسلمون حساب جداول تحدد القبلة تبعاً لخط العرض والطول الأرضيين[٦]، وقد بني بعض الجداول على صيغ تقريبية، في حين بني بعضها الآخر على صيغة دقيقة. وهناك نحو ثمانية جداول مختلفة معروفة من خلال المصادر المخطوطة، ويعود أحد هذه الجداول إلى ابن الهيثم، لكن لم يتسن تحديده حتى الآن. وتبين الصورة رقم (٤ ـ ٥) مقطعاً مأخوذاً من أحد أهم هذه الجداول، والذي وضعه الخليلي، حاسب الوقت المحترف (موقِّت) في مسجد بني أمية في دمشق في القرن الرابع عشر. نذكر كذلك أن وجود جداول الإحداثيات الجغرافية كان الطابع المميز لجميع الموجزات الفلكية العربية. وغالباً ما كانت هذه الجداول تتضمن قيم إحداثيات الكعبة بالنسبة إلى أي موقع.

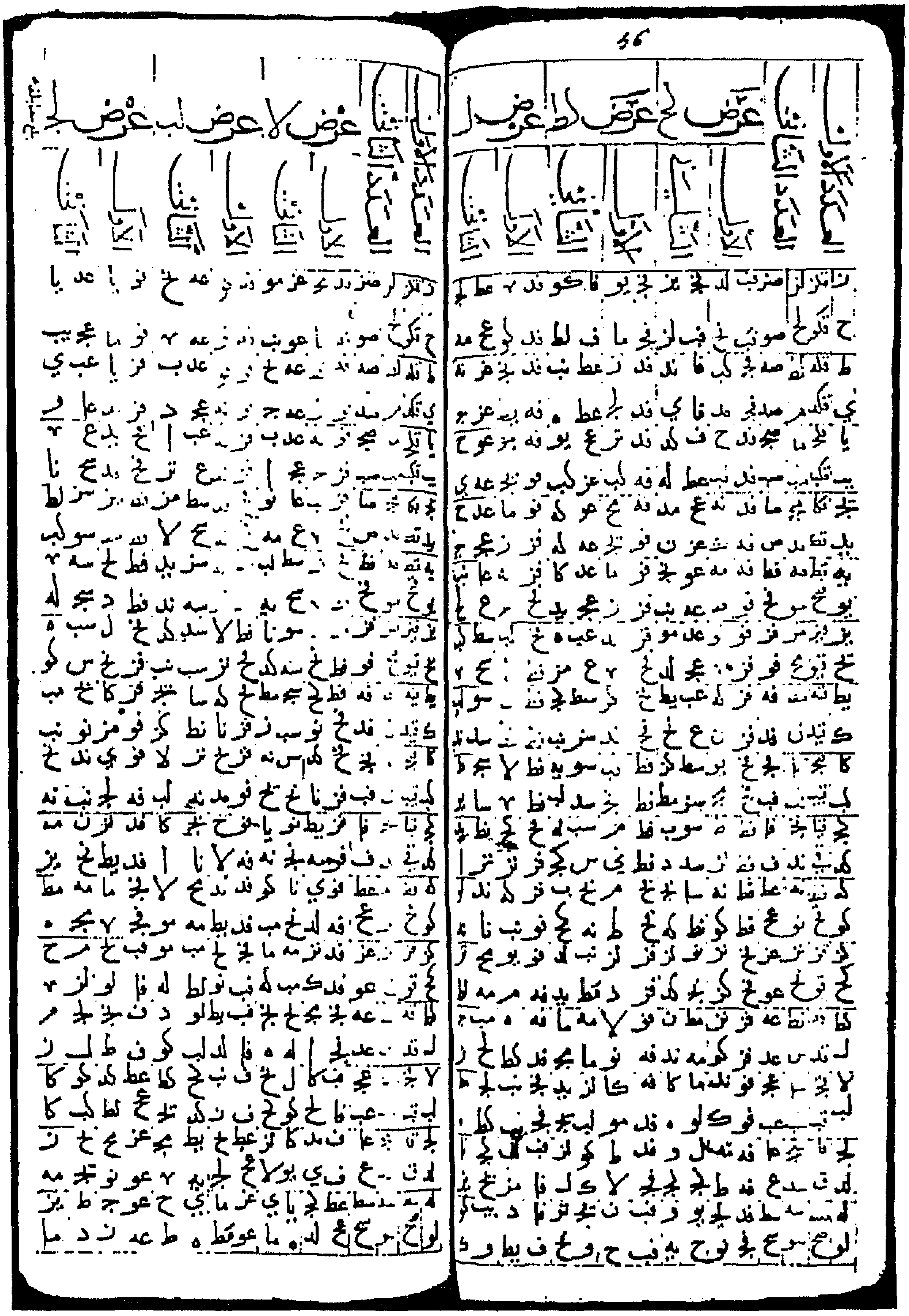
إن المؤلفات الإسلامية حول استخدام الآلات كالأسطرلاب وأنواع مختلفة من الربعيات، تتضمن عادة فصلاً حول البحث عن القبلة بواسطة الآلة موضوع البحث[٧].

---

(٥) انظر: Abu al-Rayhan Muhammad Ibn Ahmad al-Bīrūnī, *Taḥdīd al-amākin,* édition critique par P. G. Bulgakov (Le Caire: Majallat al-Makhtūtāt al-'Arabiyya, 1962); english translation: *The Determination of the Coordinates of Positions for the Correction of Distances between Cities,* a translation from the arabic of al-Bīrūnī's *Kitāb Taḥdīd al-amākin litashīh masāfāt al-masākin* by Jamil Ali, Contennial Publications/American University of Beirut (Beirut: American University of Beirut, 1967), and Edward Stewart Kennedy, *A Commentary upon Bīrūnī's Kitāb Taḥdīd al-Amākin: An 11th Century Treatise on Mathematical Geography* (Beirut: American University of Beirut, 1973).

(٦) حول الجداول المخصصة لتحديد القبلة في القرون الوسطى، انظر: King, «The Earliest Islamic Mathematical Methods and Tables for Finding the Direction of Mecca,» pp. 82 - 149; David A. King, «Al-Khalīlī's *Qibla* Table,» *Journal of Near Eastern Studies,* vol. 34, no. 2 (April 1975), reprinted in: King, *Islamic Astronomical Instruments,* XIII, and Richard P. Lorch, «The *Qibla* - Table Attributed to al-Khāzinī,» *Journal for the History of Arabic Science,* vol. 4, no. 2 (Fall 1980), pp. 259 - 264.

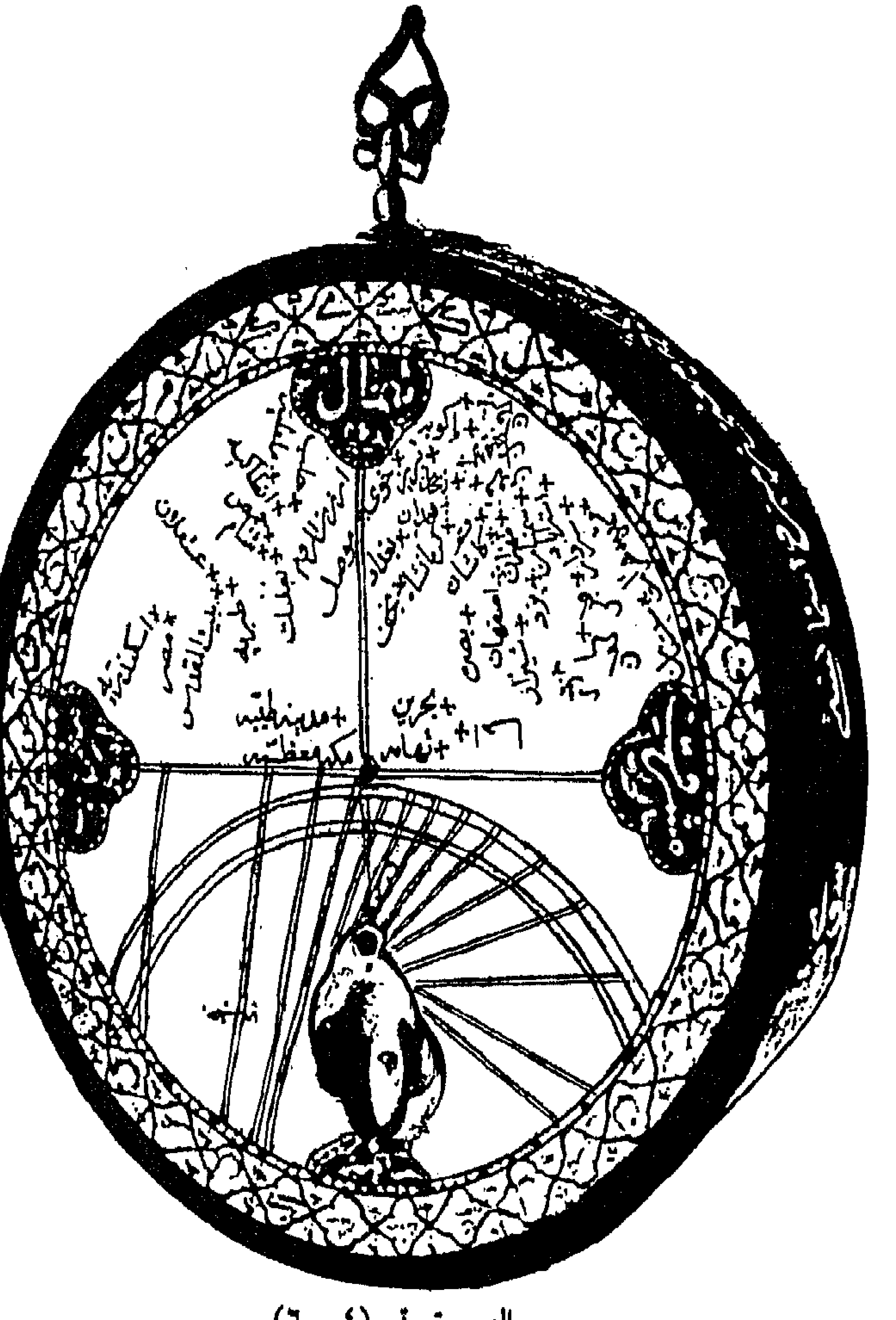
(٧) حول الآلات التي تسمح بتحديد القبلة، انظر: Richard P. Lorch, «Naṣr b. 'Abdallāh's Instrument for Finding the *Qibla,*» *Journal for the History of Arabic Science,* vol. 6, nos. 1 - 2 (1982), pp. 123 - 131; Louis Janin and David A. King, «Ibn al-Shāṭir's *Ṣandūq al-Yawāqīt:* An Astronomical *«Compendium»,*» *Journal for the History of Arabic Science,* vol. 1, no. 2 (November 1977), pp. 187 - 256, reprinted in: King, *Islamic Astronomical Instruments,* XII, and David A. King, «Osmanische Astronomische Handschriften und Instrumente,» in: *Türkische Kunst und Kultur der Osmanischen Zeit* (Recklinghausen: Verlag Aurel Bongers, 1985), vol. 2, pp. 373 - 378, reprinted in: King, *Islamic Astronomical Instruments,* XIV.



الصورة رقم (٤ ـ ٥)

مقطع مأخوذ من جدول للقبلة، ألفه الفلكي الدمشقي من القرن الرابع عشر، الخليلي. يعطينا هذا الجدول أفقياً المداخل لخطوط العرض 28°، 29°، . . . 33°، وعمودياً الإزاحات الزاوية المطابقة لفروقات خطوط الطول ابتداءً من 1° الى 60° (باريس، المكتبة الوطنية، المقالة ٢٥٥٨، الورقتان ٥٦ظ ـ ٥٧و، نسخ بعد إجازة مشكورة من مدير المكتبة الوطنية).

وابتداءً من القرن الرابع عشر، انتشرت علب البوصلة، التي كانت تحمل لوائح بالأماكن مع اتجاهات القبلة الخاصة بها، أو تصويراً خرائطياً بسيطاً للعالم حول مكة (انظر الصورة رقم (٤ ـ ٦)). وقد لقي هذا النوع من الاختراعات مجدداً اهتماماً لافتاً في السنوات الأخيرة، فقد حصلت الخطوط الجوية السعودية على مليون علبة للقبلة من مؤسسة سويسرية لتوزيعها على المسافرين على خطوطها.



الصورة رقم (٤ ـ ٦)

آلة لتحديد القبلة صادرة بوجه الاحتمال من إيران (القرن السابع عشر ـ القرن الثامن عشر). على النصف الأعلى من الميناء تم تحديد مواقع العديد من الأمكنة نسبة إلى مكة التي تقع في الوسط؛ على النصف الأدنى توجد مزولة أفقية خاصة بخط عرض غير محدد (صورة قدمها مشكوراً متحف تاريخ العلوم، أوكسفورد).

ومن الطبيعي أن تكون دقة قيمة إحداثيات قبلة، تم حسابها لموقع معين بطريقة رياضية صحيحة، مرتبطة بدقة المعطيات الجغرافية المتوفرة. وصفة الدقة هنا مرتبطة بمعايير التقويم المستخدمة. وكان الخطأ في تحديدات القرون الوسطى لخط العرض، في العادة، لا يتجاوز بضع دقائق. إلا أن تقديرات فروقات خط الطول بين مكة والأماكن المختلفة كان يصل الخطأ فيها أحياناً إلى عدة درجات. ففي القاهرة مثلاً، تقع القبلة المحددة حديثاً على حوالى ثماني درجات أكثر إلى الجنوب من القبلة التي حددها فلكيو القرون الوسطى، لأن هؤلاء استندوا إلى قيمة لفرق خط الطول هي في الواقع صغيرة جداً، إذ اعتبروا أنها تساوي ثلاث درجات.

ومن الواضح تماماً، وبناء على اتجاه المساجد المشيدة ما بين القرنين السابع والتاسع عشر، أنه لم تتم دائماً استشارة الفلكيين بصدد القبلة. ومما لا شك فيه أن بعض المساجد موجه بالفعل وفق القبلة التي حددها الفلكيون في الأماكن موضوع البحث، إلا أن عدد مثل هذه المساجد ضئيل جداً.

حول اتجاه العمارة الدينية الإسلامية

تختلف اتجاهات المساجد في منطقة واحدة من العالم الإسلامي، والسبب في ذلك يعود، إلى حد ما، إلى اختلاف اتجاهات القبلات المقترحة في المصادر المتنوعة. لكن اختلاف اتجاه المساجد له أسباب أخرى في بعض المناطق.

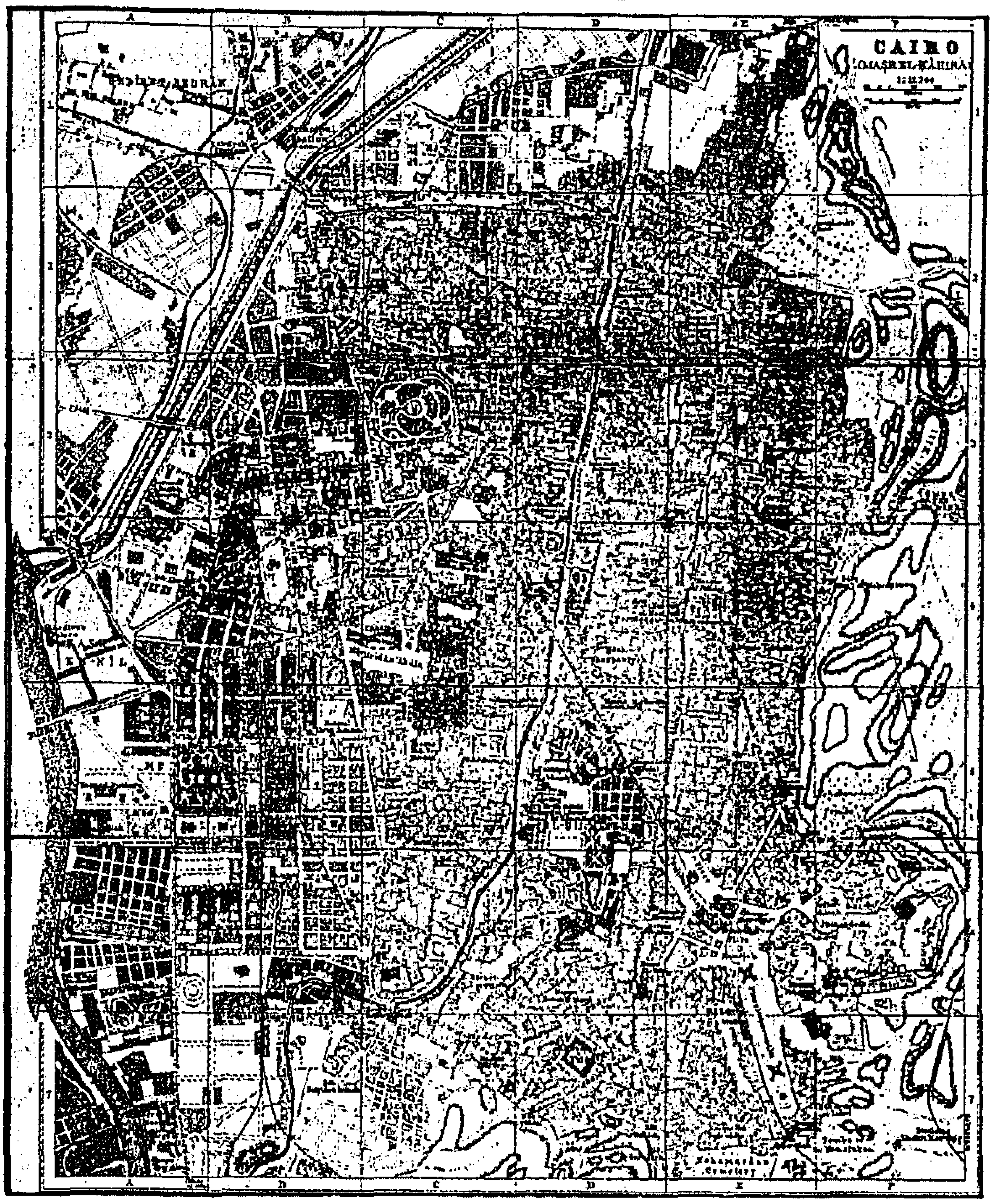
ففي قرطبة مثلاً، وكما نعرف من خلال مؤلف من القرن الثاني عشر حول الأسطرلاب، شيدت بعض المساجد باتجاه شروق الشمس في الانقلاب الشتوي، لأن الاعتقاد السائد آنذاك، أنه، وبهذه الطريقة تكون أسوار المساجد، لجهة القبلة، موازية للسور الشمالي ـ الغربي من الكعبة. فقد كانت بعض السلطات تعتقد أن هذا السور مواجه لشروق الشمس في الانقلاب الشتوي. والمسجد الكبير في قرطبة موجه وفق اتجاه متعامد مع اتجاه شروق الشمس في الانقلاب الصيفي، وذلك عائد إلى السبب نفسه. إن محوره الشرقي، في الواقع، مواز لمحور الكعبة، وهذا ما يفسر اتجاه هذا المسجد نحو الصحارى الجزائرية، بدل أن يكون موجهاً نحو صحارى شبه الجزيرة العربية.

وكما ذكرنا سابقاً، شيد أقدم مسجد في مصر، وهو مسجد عمر في الفسطاط، باتجاه شروق الشمس في الانقلاب الشتوي. وقد بنيت المدينة الجديدة، القاهرة، في نهاية القرن العاشر، على بضعة كيلومترات إلى الشمال من الفسطاط، وفق تصميم للطرق متعامد

تقريباً، على امتداد القناة التي تصل النيل بالبحر الأحمر. وفي الواقع، إنها لمصادفة حقاً أن تكون القناة، التي بناها في الأصل المصريون القدماء ثم رممها الرومان ومن بعدهم المسلمون، تقطع المدينة الجديدة وفق اتجاه متعامد مع قبلة مسجد الصحابة في الفسطاط. وهكذا، فالمدينة بأكملها موجهة وفق قبلة الصحابة (حوالى 27° نحو الجنوب انطلاقاً من الشرق). إلا أن الفاطميين، الذين بنوا المدينة، لم يتنبهوا إلى هذه الميزة التي تتمتع بها مدينتهم. لذلك نجد أن الفلكي الفاطمي ابن يونس قد حدد بطريقة رياضية أن القبلة هي تقريباً على 37° نحو الجنوب انطلاقاً من الشرق. نتيجة لذلك، فقد شيدت المساجد الفاطمية الأولى في القاهرة، أي مسجد الخليفة الحاكم والمسجد الأزهر، وفق اتجاه يحدد مع اتجاه مخطط شوارع المدينة زاوية بقيمة 10° (انظر الصورة رقم (٤ ـ ٧)). وفي العديد من الصروح الدينية اللاحقة المشيدة في المدينة القديمة، والعائدة إلى العصر المملوكي (من القرن الثالث عشر إلى القرن السادس عشر)، نجد الاتجاه الخارجي للبناء متراصفاً على قبلة الصحابة وعلى تصميم الشوارع، بينما الداخل منحرف بشكل يكون فيه المحراب موجهاً وفق قبلة الفلكيين. وفي ضاحية من القاهرة، اسمها قرافة، نجد المحور الرئيس لهذه الضاحية، والمساجد المختلفة الواقعة على امتداد هذا المحور، جميعها موجهة نحو الجنوب، لأنه كان الاتجاه المفضل للقبلة. وأما «مدينة الأموات»، التي بناها المماليك في الغرب من القاهرة، فهي منظمة بشكل تكون فيه جميع الأضرحة موجهة وفق قبلة الفلكيين، في الداخل والخارج معاً؛ كما أن تصميم الطرق المتعامد تقريباً هو أيضاً موجه وفق هذه القبلة الخاصة.

وفي سمرقند، وكما نعرف من مؤلف فقهي من القرن الحادي عشر للميلاد، فإن المسجد الرئيس موجه نحو غروب الشمس في الانقلاب الشتوي، بحيث يتجه نحو السور الشمالي الشرقي من الكعبة. وكما ذكرنا سابقاً، فقد آثرت مدرسة فقهية معينة الغرب الحقيقي كاتجاه للقبلة، كما آثرت أخرى الجنوب الحقيقي. ونستطيع، دون شك، أن نجد صروحاً دينية مرتبطة بهاتين المدرستين اللتين تعكسان هذا الاختلاف في الآراء. كما كان بعض الصروح الدينية في المدينة أيضاً موجهاً وفق القبلة التي حددها الفلكيون.

ولم تجر حتى الآن سوى دراسة تمهيدية واحدة حول اتجاهات المساجد، تم إعدادها بالاستعانة بأكثر من ألف تصميم متوفر في المصنفات العلمية الحديثة. غير أن أغلب هذه التصاميم لم يتم التحقق منها. لذلك يتعذر الحصول على أية خلاصة من مثل هذه المعطيات. ومن الواضح أن دراسة مخصصة لاتجاه المساجد في كل أنحاء العالم الإسلامي سيكون لها أهمية تاريخية بالغة. ويفترض بمثل هذه الدراسة ألا تقتصر على القياس الدقيق لاتجاه جميع المساجد والمدارس والأضرحة وغيرها من الصروح الدينية، بالإضافة إلى المقابر، بل يجب أيضاً أن تؤخذ مواقع الأفق المحلي بعين الاعتبار، وذلك من أجل السماح بالتحقق من اتجاهات فلكية محتملة. كما يجب تحديد جميع القياسات بالدقة نفسها التي تم التوصل إليها في الأبحاث الأثرية ـ الفلكية التي أجريت في أجزاء أخرى من العالم.



الصورة رقم (٤ ـ ٧)

مخطط مدينة القاهرة في القرون الوسطى، يمثل مسجد الحاكم والمسجد الأزهر، اللذين يملكان محورين منحرفين بقيمة 10° تقريباً بالنسبة إلى تصميم الطرق في المدينة الفاطمية، التي تأسست قبل بضع سنوات في العام ٩٦٩ م. تم توجيه المسجدين وفقاً لقبلة الفلكيين (حوالى 37° نحو الجنوب انطلاقاً من الشرق)، في حين أن المحور الصغير للمدينة موجه وفقاً لقبلة الصحابة الذين فتحوا مصر، أي نحو شروق الشمس في الانقلاب الشتوي (حوالى 27° نحو الجنوب انطلاقاً من الشرق). لاحقاً شيدت «مدينة الأموات» المملوكية بأكملها وفق كعبة الفلكيين. تقع قبلة القاهرة المحددة حديثاً على 45° تقريباً نحو الجنوب انطلاقاً من الشرق، لكن لا علاقة لهذا الأمر مع مسألة اتجاه المساجد في القرون الوسطى.

القسم الثاني: صناعة المزاول: نظرية وتركيب المزاول[8]

مدخل

تجلى الانتباه الذي أعاره المسلمون لقياس الوقت ولتحديد أوقات الصلاة (انظر القسم الثالث: علم الميقات) في اهتمامهم إلى حد الشغف بصناعة المزاول[9]. وساهم الفلكيون المسلمون بشكل جوهري في هذا العلم من الناحيتين النظرية والتطبيقية معاً. ولقد وجدت مزاول بأشكال مختلفة، في نهاية القرون الوسطى، في أغلب المساجد الكبرى في العالم الإسلامي.

اكتشف المسلمون المزاول إبان توسعهم في العالم اليوناني ـ الروماني في القرن السابع. ففي دمشق حوالى سنة ٧٠٠م، كان الخليفة عمر بن عبد العزيز قد استخدم مزولة لتحديد أوقات الصلاة النهارية بواسطة ساعات زمنية. وكانت على الأرجح مزولة يونانية ـ رومانية قديمة وجدها في المدينة.

وفي العصور القديمة، كانت الأشكال الأكثر شيوعاً للميناء هي شكلي الميناء نصف الكروي والميناء المسطح. ولا شك أن العلماء المسلمين الأوائل الذين عالجوا علم الفلك الرياضي، كانوا يعرفون أمثال هذه المزاول. لكن الفزاري ويعقوب بن طارق، اللذين عملا في هذا المجال في القرن الثامن، لم يكتبا عن المزاول، بحسب ما نعرفه.

أقدم النصوص في صناعة المزاول

إن أقدم مؤلف عربي عن المزاول حفظته الأيام، هو كتاب يعالج صناعتها، وقد تم اكتشافه منذ عشر سنوات فقط. وذكر فيه أن مؤلفه هو الخوارزمي، الفلكي الذائع الصيت الذي عمل في بلاط الخليفة في بغداد في بداية القرن التاسع. ويتألف هذا العمل بشكل

---

(٨) أي الساعات الشمسية.

(٩) من أجل نظرة عامة، انظر: «Mizwala,» dans: *Encyclopédie de l'Islam.*

حول النظرية الإسلامية للمزولة، بشكل عام، انظر: Karl Schoy: «Gnomonik der Araber,» in: Ernst von Bassermann - Jordan, ed., *Die Geschichte der Zeitmessung und der Uhren* (Berlin; Leipzig: Vereinigung Wissenschaftlicher Verleger; W. De Gruyter, 1920 - 1925), Bd. 1F, et «Sonnenuhren der Spätarabischen Astronomie,» *Isis,* vol. 6 (1924), pp. 332 - 360.

حول الجداول لصناعة المزاول، انظر دراستي التي ستظهر بعنوان: «Survey of Islamic Tables for Sundial Construction».

رئيسي من مجموعة جداول إحداثيات بهدف صناعة المزاول الأفقية بخطوط عرض مختلفة (بما فيها خط الاستواء)[١٠].

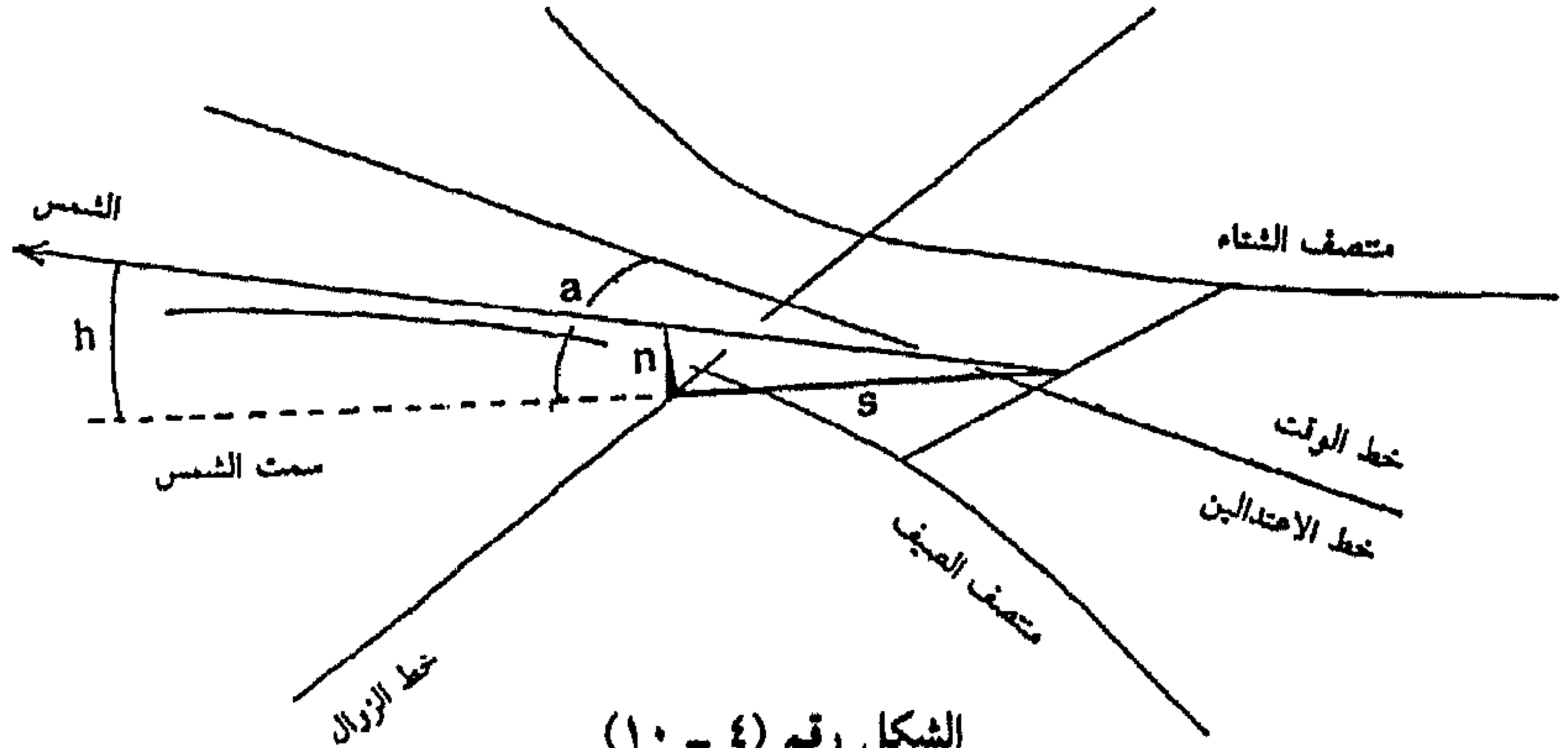
إن الرياضيات الأساسية المستخدمة في هذا المؤلف سهلة نسبياً، وإن كانت الطريقة التي تم بها حساب الجداول دقيقة، إلا أنها تحتاج إلى الشرح. وبما أن القيمتين، h التي تمثل ارتفاع الشمس و a المثلة للسمت، تتحددان تبعاً لمتاليات موافقة من خطوط طول الشمس ومن فواصل زمنية، فإن الإحداثيات نصف القطرية لنقاط تقاطع الخطوط الساعية مع آثار الظلال هي ببساطة (n, cotg h, a)، حيث n هي طول شاخص المزولة (انظر الشكل رقم (٤ ـ ١٠)). إن كل جدول من جداول الخوارزمي، موضوع لخط عرض معين، يقدم لكل من الانقلابين القيم الثلاث التالية: ارتفاع الشمس، ظل شاخص المزولة المعياري (١٢ وحدة)، ـ سمت الشمس، أي المجموعة الثلاثية (h, s, a) لكل ساعة زمنية من النهار (انظر الصورة رقم (٤ ـ ٨)). مع هذه الإحداثيات نصف القطرية التي تمت جدولتها، لا بد أن تكون صناعة المزولة قد أصبحت تقريباً عملاً روتينياً. لذلك نستطيع أن نفترض أن مزاول قد صنعت بالفعل بواسطة هذه الجداول، دون أن تحفظ الأيام أية واحدة منها، زد على ذلك أننا لا نجد في المصادر التاريخية لذلك العصر وصفاً لأي منها.

ولقد كتب الفلكي والرياضي الشهير ثابت بن قرة (الذي أقام في بغداد، حوالى سنة ٩٠٠م) عملاً شاملاً عن نظرية المزولة، سلم في مخطوطة وحيدة. إنه تحفة في الكتابة الرياضية، إلا أنه قليلاً ما أثار انتباه مؤرخي العلوم، منذ نشره في الثلاثينيات من هذا القرن. يعالج مؤلَّف ثابت هذا تحويل الإحداثيات بين مختلف الأنظمة المتعامدة المبينة على ثلاثة مستويات: (١) الأفق، (٢) خط الاستواء السماوي، (٣) مستوي المزولة. والمستوي الأخير هذا يمكن أن يكون مستوي الأفق (a)، أو مستوي خط الزوال (b)، أو مستوي أول متسامتة (c)؛ كما يمكن أن يكون المستوي (d) عمودي على (b) ومنحرف على (c)؛ أو المستوي (e) عمودي على (c) ومنحرف على (b)؛ أو المستوي (f) عمودي على (a)

---

(١٠) حول جداول الخوارزمي المتعلقة بالمزاول، انظر: Boris A. Rosenfeld, *Muhammad Ibn Musa al-Khorezmi* (Moscow: Nauka, 1983), pp. 221 - 234, and David A. King, «Al-Khwārizmī and New Trends in Mathematical Astronomy in the Ninth Century,» *Occasional Papers on the Near East* (New York University, Hagop Kevorkian Center for Near Eastern Studies), vol. 2 (1983), especially pp. 17 - 22.

حول ثابت بن قرة، انظر: Karl Garbers, «Ein Werk Thābit b. Qurra's über ebene Sonnenuhren,» *Quellen und Studien zur Geschichte der Mathematik, Astronomie und Physik*, Abt. A, Bd. 4 (1936), pp. 1 - 80, and P. Luckey, «Thābit b. Qurra's Buch über die ebenen Sonnenuhren,» *Quellen und Studien zur Geschichte der Mathematik, Astronomie und Physik*, Abt. B, Bd. 4 (1937 - 1938), pp. 95 - 148.



الشكل رقم (٤ ـ ١٠)
مبادىء نظرية أساسية لصناعة مزولة أفقية مخططة للساعات الزمنية.

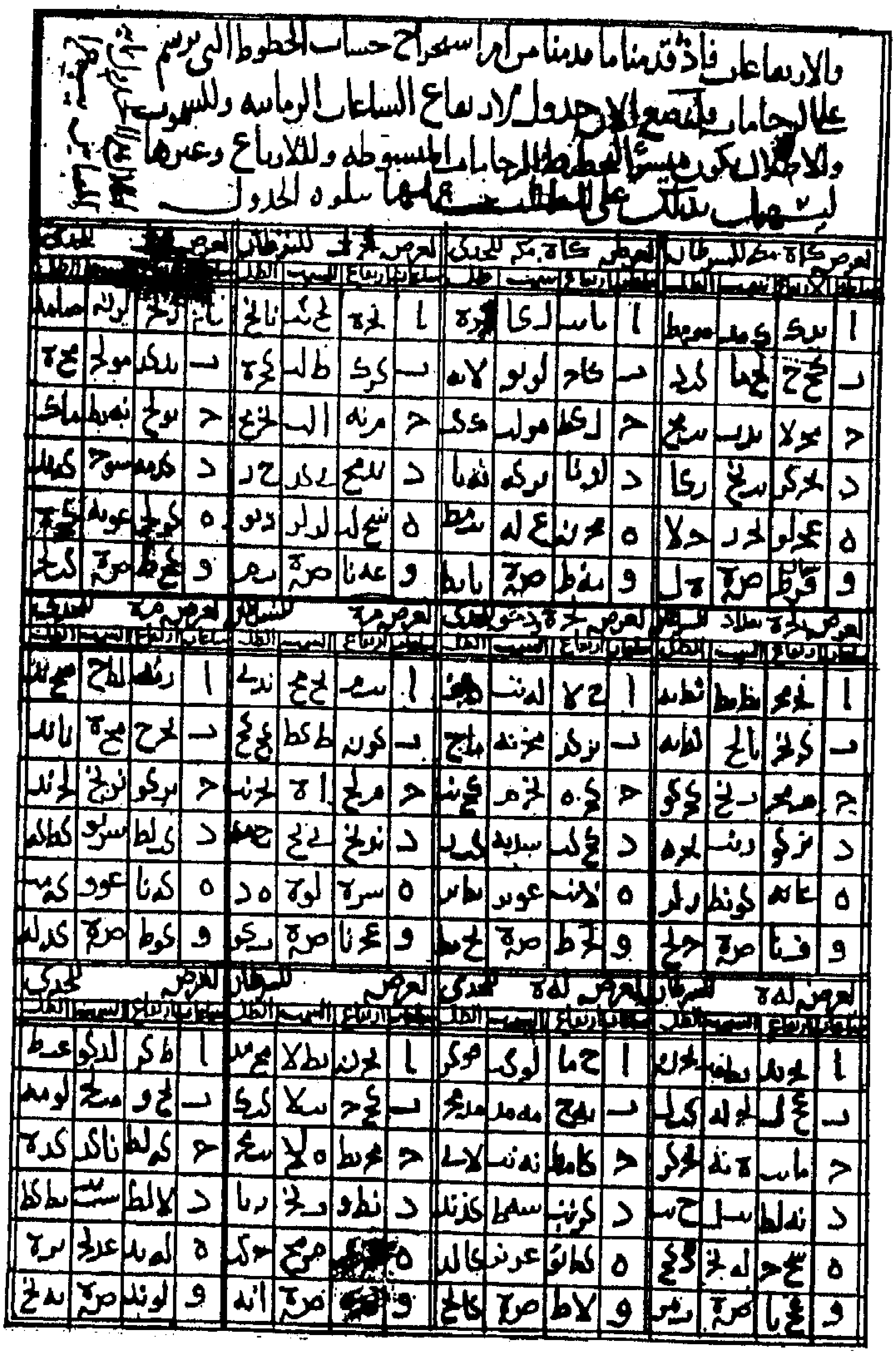
ومنحرف على (b)؛ أو المستوي (g) عمودي على (c) ومنحرف على (b)، أي المائل بالنسبة إلى (a) و(b) و(c). (انظر الصورة رقم (٤ ـ ٨) لاحقاً).

يعطي ثابت صيغاً لتحديد ارتفاع الشمس تبعاً للزاوية الساعية وللميل الزاوي ولخط العرض الأرضي. ومن الواضح أن الحصول على هذه الصيغ قد تم بطرق إسقاطية. كما يعطي صيغاً أخرى لتحويل الإحداثيات، يمكن تفسيرها بمزيد من السهولة بواسطة حساب المثلثات الكروي.

وللأسف لا يعطي أية إشارة إلى الطريقة التي استنتج بواسطتها الصيغ المختلفة، ولا نعرف كيف توصل إليها. حتى وإن كان مطلعاً على كتابات بطلميوس مثل *Analemme*، حيث تناقش تحويلات للإحداثيات مشابهة لتحويلاته، فإن مؤلفه يبدو ثمرة عمل شخصي متعمق في هذه المسألة.

وبحسب علمنا، فإن أي فلكي لاحق لم ينوه بالعمل الكبير الذي وضعه ثابت حول نظرية المزولة. ويبدو أن تأثيره كان محدوداً على صناعة المزاول الإسلامية اللاحقة، رغم أنه العرض الأكثر عمقاً حول هذا الموضوع في اللغة العربية. فقد اهتم الفلكيون المسلمون اللاحقون أكثر بالجانب التطبيقي في صناعة المزاول.

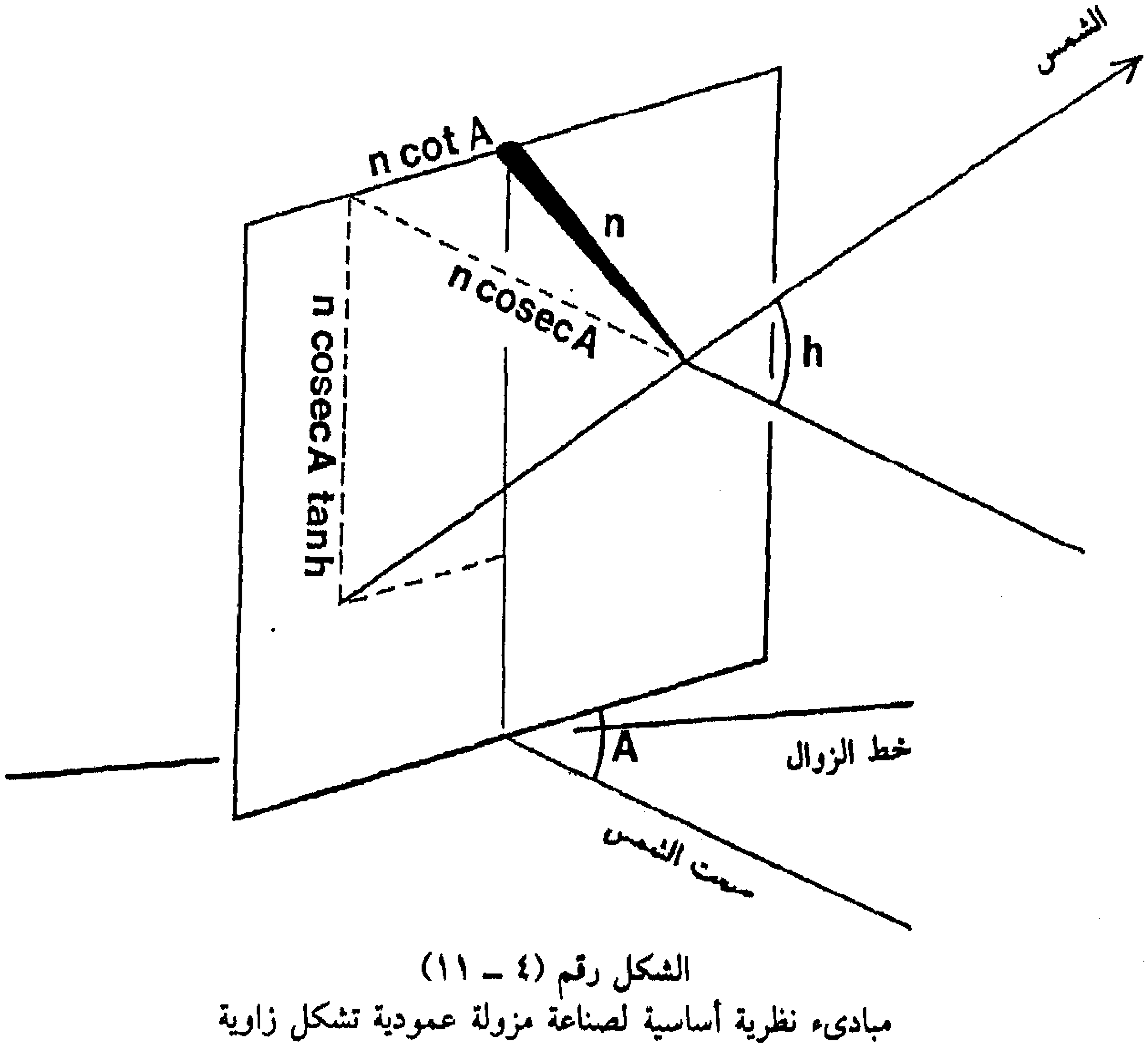
ولقد سلمت أيضاً نسخة وحيدة، يرجع تاريخها إلى القرن الخامس عشر، عن مؤلف تم وضعه في القرن العاشر يعالج صناعة المزاول العمودية. ويعود هذا المؤلف إلى واحد من فلكيينّ بغداديينّ، وهو إما ابن الآدمي أو سعيد بن خفيف السمرقندي، بحيث لم يكن الناسخ ليعرف، وبشكل مؤكد، أيهما كان المؤلف. ويتضمن هذا المؤلف جداول للدالات $a(T, \lambda)$ و$Z(T, \lambda)$ (حيث $Z = 90° - h$ هي المسافة السمتية للشمس) وذلك لكل نصف



الصورة رقم (٤ ـ ٨)

مقطع من جداول الخوارزمي لصناعة مزولة. يظهر المقطع زوج جداول لكل خط من خطوط العرض 21° و28° و33° و35° و40° مبنية على ميل 51° ;23. الزوج الأخير من الجداول هو لخط العرض 30° ;29 لكن مع ميل 35° ;23. إن هذه الجداول موجودة في مؤلف عن الإسطرلابات والمزاول، كتبه السجزي (أقام في إيران، حوالى ٩٧٥م) (اسطنبول، توبكابي، ٣٣٤٢، ٨ + ٩، تم نسخه بعد إذن مشكور من مدير مكتبة توبكابي (Topkapi)).

ساعة زمنية من الوقت المنقضي منذ شروق الشمس في اللحظة T، ولكل 30° من خط طول الشمس λ. إن قيم الدالات معطاة حتى ثلاثة أرقام في النظام الستيني ومحددة حسابياً لخط عرض بغداد، الذي اعتبر مساوياً لـ 33°. وفي المؤلف مجموعة أخرى من الجداول تعطي قيم الدالات sin θ وcotg θ حتى ثلاثة أرقام في النظام الستيني لكل درجة من الحصة. إن الأساس المستخدم للدالة «sinus» هو 10، وهذا غير اعتيادي على الإطلاق. لكنه يعني ببساطة، أن طول شاخص المزولة قد أخذ مساوياً لـ 10. وقد أعطي جدولان للدالة (cotangente)، أحدهما أساسه 10 والآخر 1. إن فائدة هاتين المجموعتين من الجداول لتكوين أزواج من الإحداثيات المتعامدة، المستخدمة في تخطيط المزاول العمودية، بأي اتجاه بالنسبة إلى خط الزوال، هي واضحة. فمن الملاحظ أنه إذا كانت الشمس تملك سمتاً A بالنسبة إلى مزولة عمودية بشاخص عمودي وأفقي طوله n (انظر الشكل رقم (٤ ـ ١١))،



الشكل رقم (٤ ـ ١١)
مبادىء نظرية أساسية لصناعة مزولة عمودية تشكل زاوية بالنسبة إلى خط الزوال المحلي.

فإن الإحداثيات المتعامدة لطرف ظل الشاخص، والتي تقاس بالنسبة إلى المحور الأفقي (x) وإلى المحور العمودي (y)، المارين بقاعدة الشاخص تكون (-n cos A, n cosec A tg h).

وعلى الرغم من أن العديد من الأعمال الهامة القديمة حول صناعة المزاول قد ضاع دون أن يترك أثراً، إلا أنه ما زال هناك العديد من المواد الأخرى القديمة التي تنتظر الدراسة.

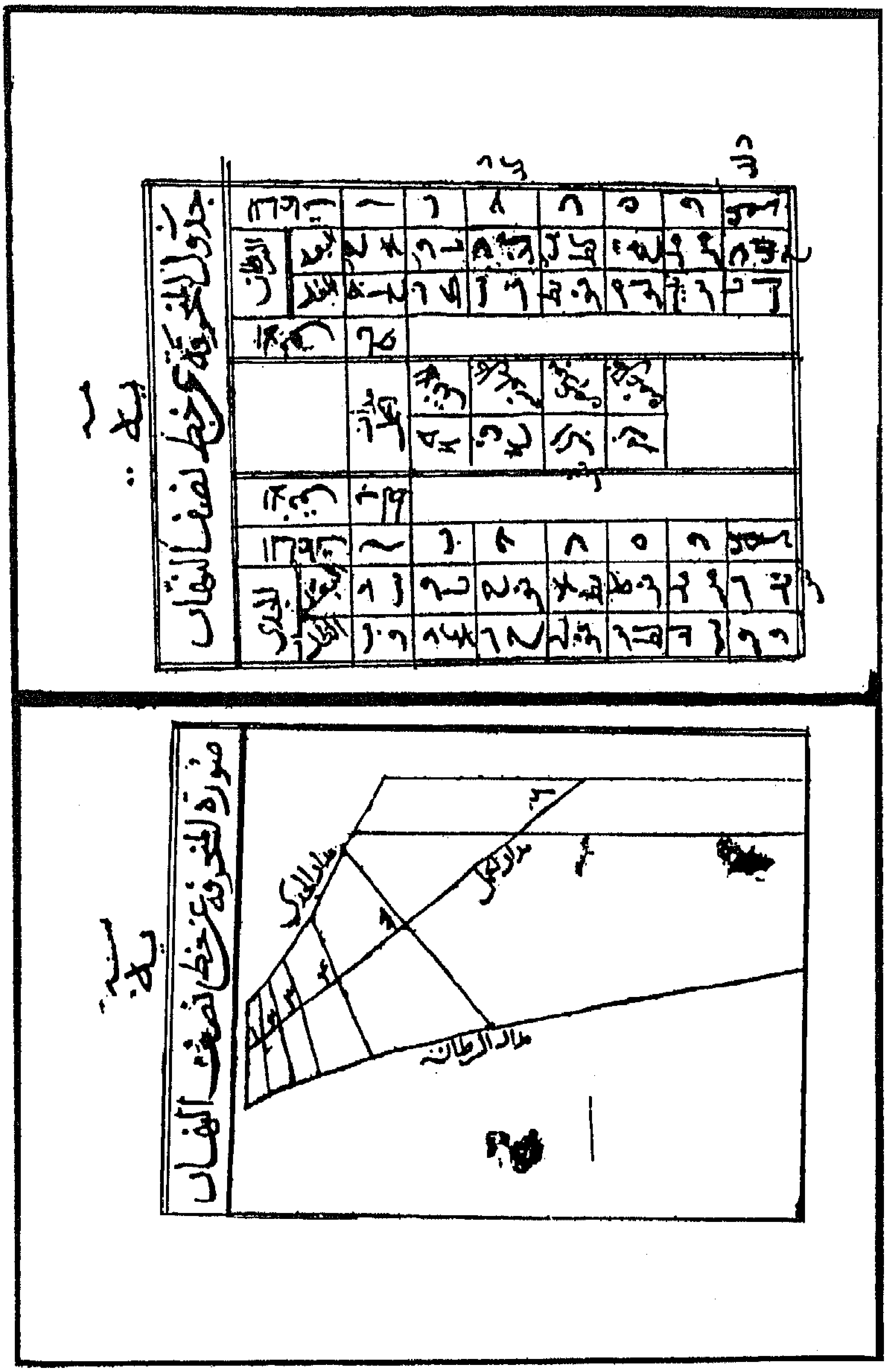
نصوص متأخرة حول صناعة المزاول

إن أهم عمل حول نظرية المزولة، في المرحلة المتأخرة من علم الفلك الإسلامي، هو ملخص في علم الفلك الكروي والآلات الفلكية وعنوانه **جامع المبادىء والغايات في علم الميقات**، وقد اقتبسه أبو علي المراكشي، وهو فلكي من أصل مغربي، عمل في القاهرة نحو العام ١٢٨٠م[١١]. ومن الصعب تقدير المساهمة الخاصة بالمراكشي في هذا العمل الضخم (المخطوطة الموجودة في باريس تتضمن ٧٥٠ صفحة). إن الأجزاء الطويلة حول نظرية المزولة مع جداول عديدة، موضوعة بشكل أساسي لاستخدامها في القاهرة. وتبدو هذه الأجزاء أصلية، لكننا لا نملك أية معلومات عن نصوص مصرية سابقة محتملة تقارب نظرية المزولة. علاوة على ذلك، فإن المقسي (انظر أدناه) الذي كان ناشطاً في عصر المراكشي، كان مستقلاً عنه، على ما يبدو.

مارس مؤلف المراكشي لاحقاً تأثيراً واسعاً في الأوساط الفلكية في مصر وسوريا وتركيا. وقد حل هذا المؤلف في العديد من النسخات المخطوطة. وعلى الرغم من أنه المصدر الأهم فيما يتعلق بالآلات الإسلامية، إلا أنه، وحتى الآن، لم يحصل من المؤرخين على الاهتمام الذي يستحقه. فقد نشر ج. ج. سيديّو (J. J. Sédillot) في حوالى العام ١٨٣٤ ـ ١٨٣٥ ترجمة فرنسية للنصف الأول من العمل، الذي يعالج الفلك الكروي ونظرية المزولة. كما نشر ل. أ. ب. سيديّو (L. A. P. Sédillot) الابن في العام ١٨٤٤ موجزاً مشوشاً إلى حدٍ ما عن النصف الثاني الذي يعالج آلات أخرى.

---

(١١) حول مؤلف الخوارزمي، انظر: Abū 'Ali al-Hasan Ibn 'Ali al-Marrākushi, *Traité des instruments astronomiques des arabes composé au treizième siècle par Aboul Hassan Ali du Maroc...*, traduit de l'arabe par J. J. Sédillot et publié par L. A. Sédillot, 2 vols. (Paris: Imprimerie royale, 1834 - 1835), réimprimé (Frankfurt: Institut für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften, 1985), et L. A. Sédillot, «Mémoire sur les instruments astronomiques des arabes,» *Mémoires de l'académie royale des inscriptions et belles - lettres de l'institut de France*, vol. 1 (1844), pp. 1 - 229, réimprimé (Frankfurt: Institut für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften, 1985).



الصورة رقم (٤ ـ ٩)

مقطع من جداول المقسي لصناعة المزاول العمودية لخط عرض القاهرة.
هذا الجدول الخاص أعد لانحراف قدره 15° على خط الزوال (القاهرة، دار الكتب، ميقات ١٠٣، الورقتان ٦٨ظ ـ ٦٩و، تم نسخه بعد إذن مشكور من مدير المكتبة الوطنية المصرية).

إن دراسة المراكشي للمزاول، المزينة بشكل وافر بالرسوم البيانية، ترتكز على وصف طرق الصناعة. فلم يتم فيها التوسع في القاعدة النظرية، وهي لا تعطي أية إشارة إلى طريقة وضع الجداول العديدة. ويعالج النص المزولة الأفقية والمزولة العمودية والمزولة الأسطوانية والمزولة المخروطية، بالإضافة إلى ذلك هناك بحث للمزاول «بشكل أجنحة». في هذه الأخيرة تغطي التخطيطات سطحين مستويين متجاورين، يملكان محوراً مشتركاً في المستوي الأفقي أو العمودي. كما يتضمن العمل أيضاً وصفاً لمجموعة سلالم ورسوم بيانية لقياس الظلال، ولتحويل الظلال الأفقية والعمودية، ولحساب المطالع. ويبدو أن الجهاز المعروف باسم «ميزان الفزاري» مرتبط بالفلكي الذي يحمل هذا الاسم والذي عاش في القرن الثامن للميلاد.

وقد اقتبس الفلكي القاهري المقسي، معاصر المراكشي، مجموعة من الجداول لصناعة المزاول التي كانت إلى حد ما شائعة بين الفلكيين المصريين اللاحقين. وقد وضع جداول لرسم المزاول الأفقية لخطوط عرض مختلفة. إلا أن الجزء الأكبر من مؤلفه يتشكل من جداول لرسم المزاول العمودية لخط عرض القاهرة. فقد وضع لكل درجة انحراف على خط الزوال المحلي، جدولاً لإحداثيات نقاط تقاطع خطوط الساعات الزمنية وللعصر مع آثار الظل في الاعتدالين والانقلابين (انظر الصورة رقم (٤ ـ ٩)). وبعد المراكشي والمقسي جمع العديد من الفلكيين جداول واسعة لصناعة المزاول لخطوط عرض معينة، وبخاصة لخطوط القاهرة ودمشق واسطنبول، وما زالت هذه الجداول تنتظر من يقوم بدراستها.

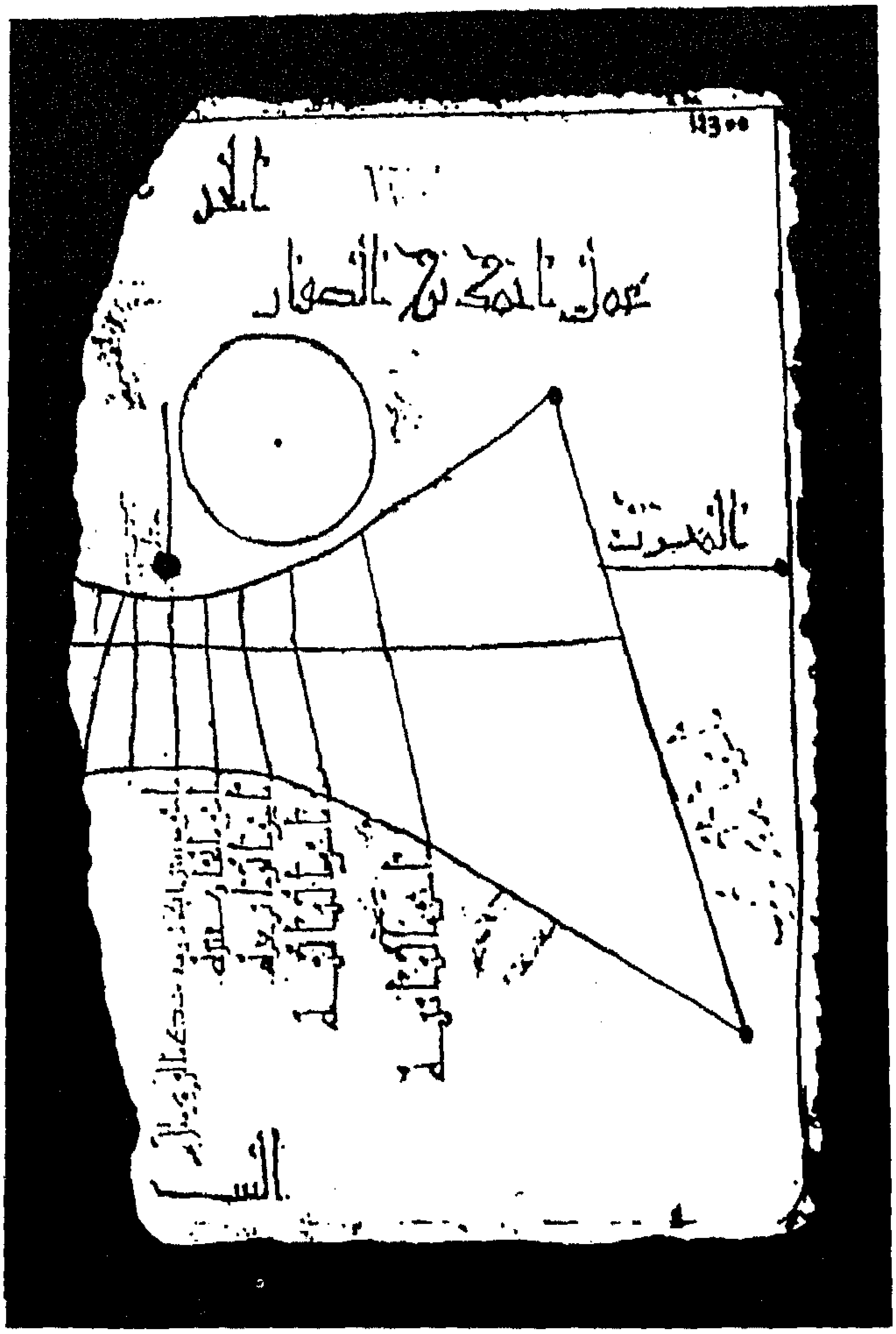
المــزاول

لم يبق من القرون الوسطى سوى بضع مزاول فقط، ولا بد أن المئات بل الآلاف قد صنعت ابتداءً من القرن التاسع للميلاد. إلا أن الأغلبية الساحقة منها قد اختفت دون أن تترك أي أثر. وأغلب المزاول الباقية، والتي تمت صناعتها قبل العام ١٤٠٠م، معروفة ومكتوب عنها، مع ذلك لم توضع حتى الآن أية قائمة بهذه المزاول.

يحمل أغلب المزاول الإسلامية خطوطاً للساعات (زمنية أو اعتدالية) ولصلاتَيِ الظهر والعصر. وبما أن بدء هاتين الصلاتين يتحدد بواسطة أطوال الظل (انظر القسم الثالث: علم الميقات)، لذلك كان تعيين أوقات الصلاة بواسطة المزولة ملائماً تماماً.

المزاول الأفقية

إن أقدم مزولة إسلامية حفظتها الأيام (انظر الصورة رقم (٤ ـ ١٠))، هي من صنع ابن الصفّار، الفلكي الشهير الذي عمل في قرطبة حوالى العام ١٠٠٠م. وقد سلم فقط



الصورة رقم (٤ ـ ١٠)

أقدم مزولة إسلامية محفوظة، صنعها حوالى العام ١٠٠٠م في قرطبة ابن الصفّار. يمكن فقط رؤية منحني الظهر على هذا الجزء، لكن هناك أيضاً، على وجه الاحتمال، منحنيات لبداية ونهاية العصر (صورة قدمها مشكوراً متحف الآثار لمنطقة قرطبة).

نصف الجهاز، إلا أن الباقي كان كافياً لإثبات أن صناعة المزاول لم تكن من اختصاص ابن الصفار. فالمزولة هي من الطراز الأفقي، وتتضمن خطوطاً لكل ساعة زمنية، وقد جاء بعضها متكسراً عند تقاطعه مع أثر الظل للاعتدال، والأثر بدوره غير مستقيم. كما أن هنالك خطاً لصلاة الظهر، ومن المفروض أن يكون هناك أيضاً خط للعصر. والشاخص مفقود، لكن طوله مبين بواسطة نصف قطر الدائرة المنقوشة على المزولة. إن العديد من المزاول الأندلسية الأكثر قدماً والتي بقيت، تعتبر شواهد ضعيفة على مهارة صناعها. فالعديد منها مشوه بأخطاء جسيمة، وإحداها، ومن وجهة نظر عملية، غير قابلة للاستعمال إطلاقاً. ومع ذلك، فلا بد أن مزاول صحيحة قد صنعت في الأندلس في القرون الوسطى[(١٢)].

إن المزولة التونسية في الصورة رقم (٤ ـ ١١) تعتبر عملاً أكثر إتقاناً من المزاول الأندلسية المذكورة أعلاه. فقد صنعها في العام ١٣٤٥/١٣٤٦ م أبو القاسم بن الشداد. إنها تمثل فائدة تاريخية كبيرة، لأن خطوطها تعطي فقط ساعات النهار التي تحمل معاني دينية ولا تعطي الساعات الزمنية. أما لفترة ما بعد الظهر (الجهة اليمنى) فقد رسمت منحنيات الظهر والعصر بالتوافق مع التحديدات الشائعة في الأندلس والمغرب. وبالنسبة

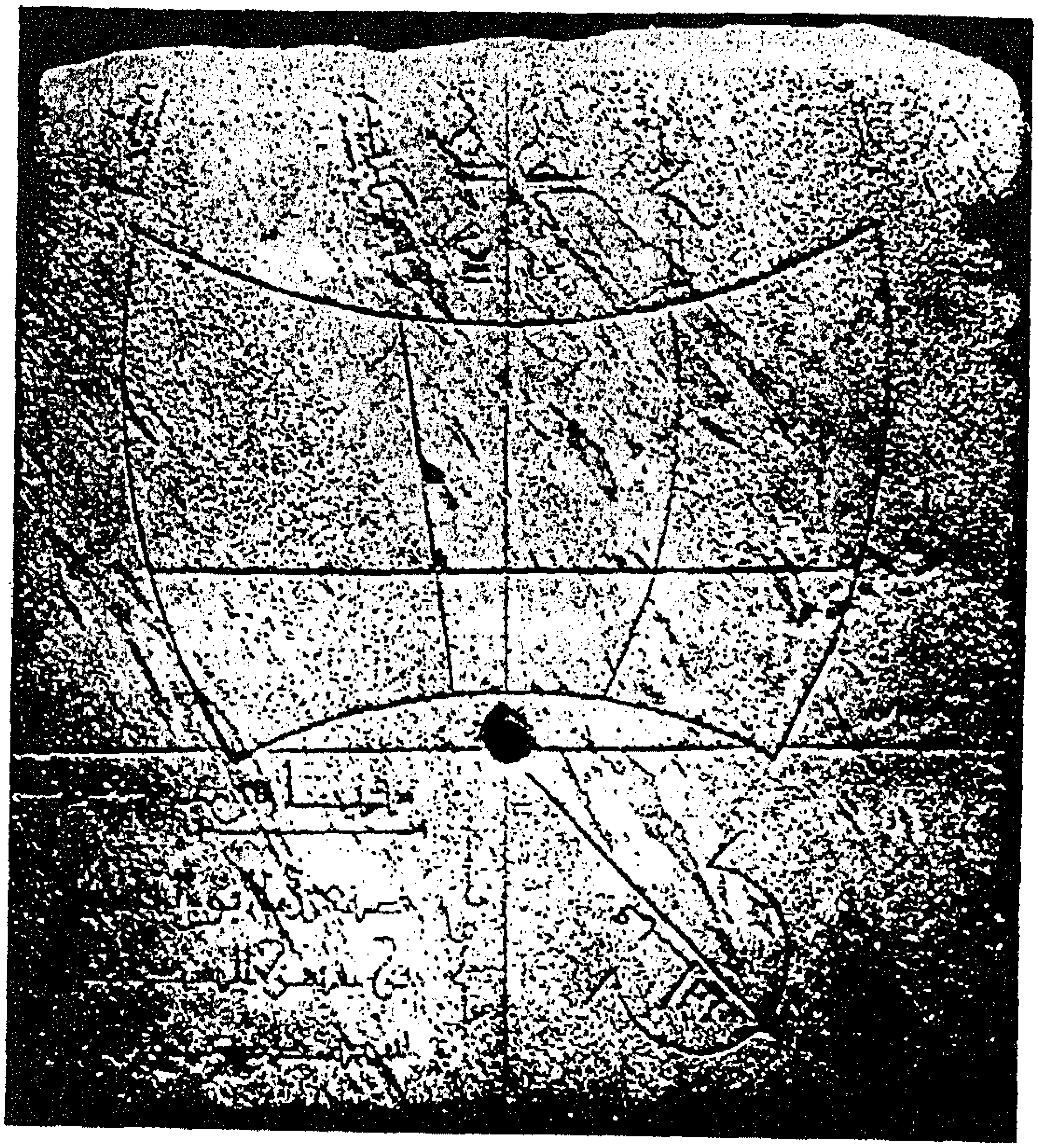
---

(١٢) حول المزاول الأندلسية، انظر: David A. King, «Three Sundials from Islamic Andalusia,» *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 2, no. 2 (November 1978), pp. 358 - 392, reprinted in: King, *Islamic Astronomical Instruments*, XV.

ونوقشت المزولة التونسية في: David A. King, «A Fourteenth - Century Tunisian Sundial for Regulating the Times of Muslim Prayer,» in: W. Saltzer and Y. Maeyama, eds., *Prismata: Festschrift für Willy Hartner* (Wiesbaden: Franz Steiner, 1977), pp. 187 - 202, reprinted in: King, *Islamic Astronomical Instruments*, XVIII.

حول مزولة ابن الشاطر، انظر: Louis Janin, «Le Cadran solaire de la Mosquée Umayyade à Damas,» *Centaurus*, vol. 16, no. 4 (1972), pp. 285 - 298, reprinted in: Edward Stewart Kennedy and I. Ghanem, *The Life and Work of Ibn al-Shāṭir: An Arab Astronomer of the Fourteenth - Century* (Aleppo: Institute for the History of Arabic Science, 1976).

وصفت مزاول أخرى في القرون الوسطى في: P. Casanova, «La Montre du Sultan Noūr ad-Dīn (544 de l'Hégire = 1159 - 1160),» *Syria*, vol. 4 (1923), pp. 282 - 299; Louis Janin and David A. King, «Le Cadran solaire de la Mosquée d'Ibn Ṭūlūn au Caire,» *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 2, no. 2 (November 1978), pp. 331 - 357, reprinted in: King, *Islamic Astronomical Instruments*, XVI; A. Bel, «Trouvailles archéologiques à Tlemcen: Un cadran solaire arabe,» *Revue africaine*, vol. 49 (1905), pp. 228 - 231; Louis Janin, «Quelques aspects récents de la gnomonique tunisienne,» *Revue de l'occident musulman et de la Méditerranée*, vol. 24 (1977), pp. 207 - 221, et Henri Michel et A. Ben - Eli, «Un cadran solaire remarquable,» *Ciel et terre*, vol. 81 (1965).



الصورة رقم (٤ ـ ١١)

مزولة تونسية من القرن الرابع عشر للميلاد، حيث يشار إلى أربع ساعات من النهار، تملك معنى دينياً (ملكية المتحف الوطني في قرطاجة؛ نسخة قدمها مشكوراً آلان بريو (Alain Brieux)، باريس).

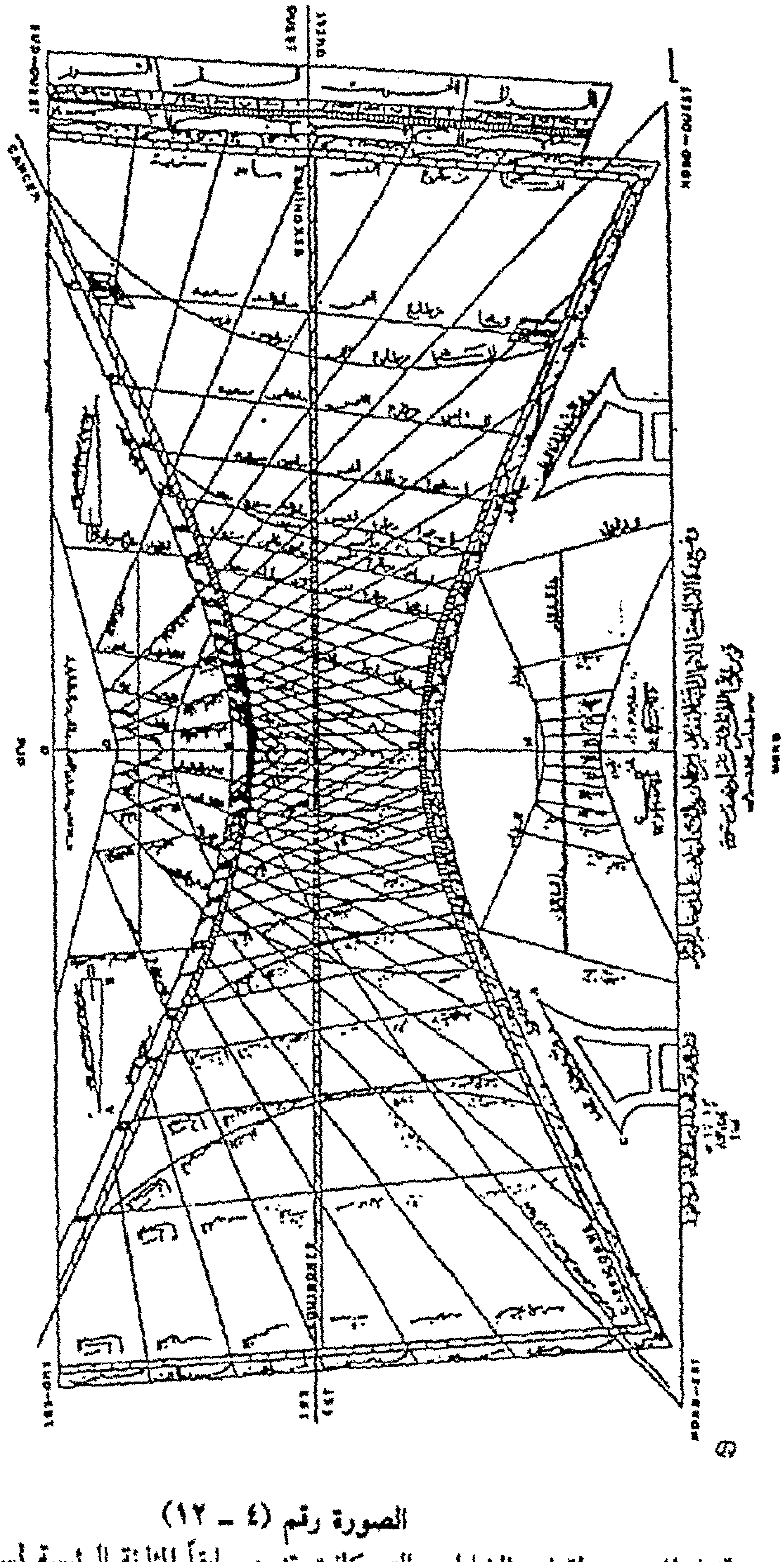
الى الفترة الصباحية، فهناك منحنٍ للضحى، متناظر مع منحني العصر نسبة إلى خط الزوال. كما أن هنالك خط للساعات الموافقة لنظام «التأهيب»، أي ساعة اعتدالية قبل الظهر، والنظام هذا مرتبط بالعبادة الجماعية يوم الجمعة. إن تناظر منحنيات الضحى والعصر على المزولة هو الذي يؤدي، وللمرة الأولى، إلى فهم تحديدات أوقات الصلاة النهارية في الإسلام. كما يظهر التفحص المتنبه للخطوط على المزولة، أن منحنيات انقلاب الشمس مرسومة كأقواس

دوائر وليس كقطوع زائدة. تشكل هذه المزولة إذاً، مثالاً ملفتاً عن التقليد، حيث كانت ترسم خطوط انقلاب الشمس، ذلك التقليد الذي يفترض أنه كان منتشراً بشكل واسع في العصر الوسيط في الأندلس والمغرب.

وأما الفلكي ابن الشاطر، وهو رئيس الموقتين في جامع بني أمية في دمشق في منتصف القرن الرابع عشر، فقد صنع في العام ١٣٧١/١٣٧٢م مزولة أفقية رائعة قوامها متران على متر تقريباً (انظر الصورة رقم (٤ ـ ١٢)). وقد نصبت في باحة المسجد في الجهة الجنوبية من المئذنة الرئيسية للجامع، ولا تزال أجزاؤها معروضة في حديقة المتحف الوطني في دمشق. وقد صنع الموقت الطنطاوي في العام ١٨٧٦م نسخة مطابقة للأصلية، ما زالت مستقرة أيضاً في مكانها على المئذنة. كما عملت ذرية طويلة للموقت في المسجد من القرن الرابع عشر حتى القرن التاسع عشر، واستخدمت على ما يبدو مزولة ابن الشاطر لتحديد أوقات الصلاة، كذلك استخدمت الجداول ومختلف الآلات التي كانت متوفرة لديها.

تملك مزولة ابن الشاطر ثلاث مجموعات أساسية من الخطوط. وفي الواقع، هناك ثلاث مزاول منقوشة على البلاطة الرخامية. إن المزولة الصغيرة مع الشاخص الخاص بها، في الجهة الشمالية، تحمل خطوطاً للساعات الزمنية ولصلاة العصر. كما أن المزولة الصغيرة، في الجهة الجنوبية، تحمل خطوطاً للساعات الاستوائية لفترة ما قبل الظهر وما بعده، وكذلك لفترة ما بعد شروق الشمس وما قبل غروبها. إن شاخصها المتوازي مع محور القبة السماوية، متراصف ببراعة مع الشاخص الأكبر للمزولة الثالثة والرئيسية. وتحمل هذه المزولة الأخيرة خطوطاً مطابقة لفواصل زمنية من 20 إلى 20 دقيقة قبل الظهر وبعده، كذلك لفواصل من 20 الى 20 دقيقة استوائية انطلاقاً من شروق الشمس حتى الظهر، وفواصل من 20 الى 20 دقيقة قبل غروب الشمس انطلاقاً من الظهر. هناك أيضاً منحنيات موافقة لفواصل من 20 إلى 20 دقيقة حتى صلاة العصر انطلاقاً من ساعتين قبل الصلاة، كما أن هناك منحنيات للساعتين الثالثة والرابعة بعد الفجر وقبل هبوط الليل. أخيراً، هناك منحنٍ للحظة الواقعة قبل فجر اليوم التالي بثلاث عشرة ساعة ونصف الساعة. وقد قال الطنطاوي إنه شخصياً قام بإضافة المنحني الأخير إلى مزولة ابن الشاطر.

وهكذا يمكن استخدام المزولة لقياس الوقت المنقضي بعد شروق الشمس في فترة الصباح، والوقت المتبقي للانقضاء قبل غروبها في فترة ما بعد الظهر، وكذلك الوقت قبل الظهر وبعده. وتقيس هذه المزولة الوقت بالنسبة إلى صلاتي الظهر والمغرب، ويسمح منحني العصر فيها بقياس الوقت بالنسبة إلى هذه الصلاة. كما تستخدم المنحنيات المرتبطة بهبوط الليل وقيام النهار لقياس الوقت بالنسبة الى صلاتي العشاء والفجر، فعندما يقع الظل على هذه الخطوط، فعلى الموقت أن يعرف مثلاً أن العشاء يبدأ بعد أربع أو ثلاث ساعات، كما يكون باستطاعته أن يرى كيف يكون مظهر السماء عند هبوط الليل بواسطة أسطرلابه



الصورة رقم (٤ ـ ١٢)

تخطيطات مزولة ابن الشاطر، التي كانت تزين سابقاً المئذنة الرئيسة لمسجد بني أمية في دمشق. بقيت من المزولة الأصلية أجزاء محفوظة في حديقة متحف الآثار في دمشق. هذه الصورة هي للنسخة المطابقة للمزولة الأصلية، التي صنعها في القرن التاسع عشر الموقت الطنطاوي، والتي ما زالت على المئذنة في المكان نفسه (قدمها مشكوراً القسم السوري للآثار والمغفور له آلان بريّو، باريس).

أو ربعيته. إن سبب اهتمام الموقت باللحظات الواقعة بعد صلاة الفجر بأربع أو ثلاث ساعات غير واضح. لكن عندما يقع الظل على منحني الطنطاوي الموافق للحظة الواقعة قبل الفجر بثلاث عشرة ساعة ونصف الساعة، يكون باستطاعة الموقت أن يتحقق بواسطة آلة أخرى من المظهر السماوي لفجر اليوم التالي. وقد تم اختيار اللحظة الواقعة قبل الفجر بثلاث عشرة ساعة ونصف الساعة، لأنها اللحظة الأكثر تأخراً، والتي يمكن إبرازها على المزولة. إن مزولة ابن الشاطر تعد تحفة في الإبداع والاختراع ومثالاً يدل على براعة تقنية استثنائية. وقد وصفت هذه المزولة للمرة الأولى في المصنفات العلمية عام ١٩٧٢. وتعتبر، بلا ريب، أجمل مزولة في العصر الوسيط.

المزاول العمودية

لم تبق أية مزولة عمودية تعود إلى القرون الأولى من علم الفلك الإسلامي، غير أننا نعرف أنها صنعت، وذلك استناداً إلى المؤلفات الموضوعة عن استخدام هذه المزاول، ابتداءً من القرن التاسع.

إن أقدم مزولة محفوظة مصدرها مصر وسوريا، البلدين المسلمين، هي مزولة عمودية يدوية بسيطة، صنعت في العام ١١٥٩/ ١١٦٠م. وتستخدم لقياس الساعات الزمنية وتحمل مجموعتي خطوط على الوجهين، إحداهما لخط العرض 33° (دمشق) والأخرى لخط العرض 36° (حلب). وهذه الآلة معروفة من خلال نصوص، كمؤلف المراكشي، حيث تسمى «ساق الجرادة» ولاستخدامها يجب إمساكها في مستوٍ متعامد مع مستوي الشمس، بحيث يكون الشاخص مثبتاً في واحد من الثقوب الستة في الرأس (كل ثقب منها يقابل زوجاً من أزواج صور البروج بين انقلابي الشمس). فيقع عندئذ ظل طرف الشاخص على الخطوط، ويمكن بذلك قياس الوقت بساعات زمنية. يقول النقش الموجود عليها، والذي يتضمن إهداءً إلى السلطان نور الدين زنكي، إن الخطوط تستخدم لتحديد الساعات الزمنية وأوقات الصلاة، ومن هنا نستنتج أن أوقات صلاتي الظهر والعصر كانت محددة كساعات زمنية خاصة.

عرف النوع الأكثر انتشاراً للمزولة العمودية، ابتداءً من القرن التاسع، تحت اسم «منحرفة»، الذي يعني ببساطة «عمودية ومنحرفة على خط الزوال». وعادة، كانت توجد على هذه المزاول خطوط لكل ساعة زمنية ولصلاة العصر، متصلة بأثرين لظل على شكل قطعين زائدين لانقلابي الشمس. ولا بد أن جداول، كتلك التي وضعها المقسي (انظر أعلاه)، كانت مفيدة بوجه خاص لصناعة مثل هذه المزاول على أسوار المساجد.

اللازم الفلكي

ابتكر الفلكي السوري ابن الشاطر إبان القرن الرابع عشر لازماً فلكياً، أو آلة باستعمالات متعددة[١٣]. وقد جمعت كل الأجزاء المختلفة المتحركة للآلة في علبة قليلة العمق بقاعدة مربعة، مقفلة بغطاء ذي مفاصل. وعلى خارج الغطاء ثبتت عضادة (ذراع متحرك) تستطيع الدوران فوق سلسلة من الخطوط، وبذلك يمكن مستخدم الآلة أن يحسب المطالع المائلة لدمشق ولخطوط العرض 30° و40° و50°. كما يمكن للغطاء أن ينفتح بشكل يكون فيه متوازياً مع خط الاستواء السماوي، وذلك لسلسلة من ستة أماكن قائمة في سوريا ومصر والحجاز. كما يمكن وضع جهازين بصريين للتصويب في طرفي العضادة بشكل متعامد معها، بحيث يكون باستطاعتها أن تكون متراصفةً استوائياً مع الشمس أو مع أي نجم آخر في نصف الكرة الشمالي، ويمكن قراءة الزاوية الساعية على سلم قياس دائري موجود على الغطاء. كما أن مزولة قطبية تحمل خطوطاً منقوشة على صفيحة متحركة، يمكن تركيبها بحيث ترتكز بقليل من الثبات على أجهزة التصويب المثبتة على العضادة التي يجب أن تكون في هذه الحالة أفقية. وبواسطة هذه المزولة القطبية، الموضوعة بهذا الشكل، نستطيع قراءة الساعات الاعتدالية قبل الظهر وبعده، كذلك نستطيع رؤية حلول ساعة العصر (غير أن ابن الشاطر كان يخطىء باعتقاده أن منحني العصر المرسوم على مزولة لخط العرض صفر يمكن استخدامه بشكل شامل بهذه الطريقة).

أما الفلكي المصري الوفائي فقد ابتكر أيضاً، وخلال القرن الخامس عشر، لازماً فلكياً آخر أسماه «دائرة المعدل»، أي ما معناه بشكل حرفي «الدائرة الاستوائية». وتتألف هذه الآلة من حاضن نصف دائري، مثبت في طرفي قطره على قاعدة أفقية، وقابل للوضع في مستوٍ موازٍ لخط الاستواء السماوي في أي خط عرضٍ كان. كما تتألف أيضاً من جهاز بصري خاص للتصويب، مثبت شعاعياً على الحاضن، بحيث يمكن قياس الزاوية الساعية لأي

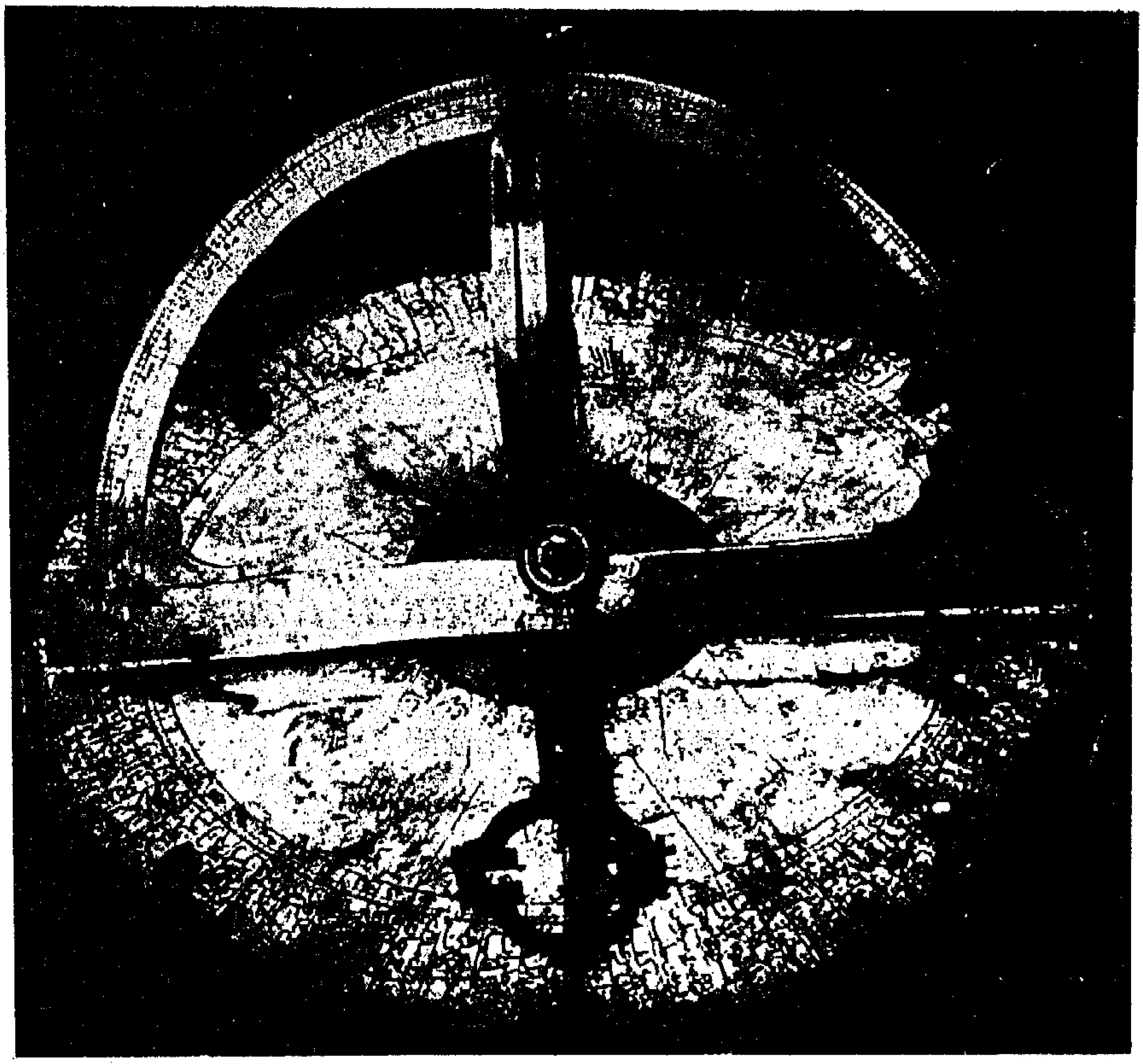
---

(١٣) نوقش اللازم الفلكي لابن الشاطر في: Janin and King, «Ibn al-Shāṭir's *Ṣandūq al-Yawāqīt:* An Astronomical *«Compendium»*,» pp. 187 - 256.

نوقش اللازم الفلكي للوفائي، في: S. Tekeli, «(The) *Equatorial Armilla* of Iz(z) al-Din b. Muhammad al-Wafa'i and (the) *Torquetum*,» *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih - Cojrafya Fakültesi Dergisi,* vol. 18 (1960), pp. 227 - 259; W. Brice, C. Imber and R. Lorch, «The Dā'ire-yi Mu'addal of Seydī 'Ali Re'īs,» paper presented at: Seminar on Early Islamic Science, University of Manchester, 1, 1976, and Muammer Dizer, «The Dā'irat al-Mu'addal in the Kandilli Observatory, and Some Remarks on the Earliest Recorded Islamic Values of the Magnetic Declination,» *Journal for the History of Arabic Science,* vol. 1, no. 2 (November 1977), pp. 257 - 262.

جرم سماوي، يكون ميله الزاوي الشمالي أقل من ميل فلك البروج (انظر الصورة رقم (٤ ـ ١٣). وتحمل قاعدة الآلة خطوطاً تشير إلى القبلة لأماكن مختلفة، كما تحمل أحياناً مزولة أفقية لخط عرض خاص.

إن دراسة مسألة تأثير اللوازم الفلكية الإسلامية على اللوازم الفلكية، التي كانت شائعة في أوروبا إبان عصر النهضة، لا تزال ضرورية للغاية. وفي ما يتعلق بالمؤلفات الإسلامية عن المزاول، نذكر أن العمل الوحيد المعروف في أوروبا، هو ذلك الذي تم إدراجه في *Libros del Saber* في القرن الثالث عشر، لكنه كان خالياً من أية نظرية مفصلة ومن الجداول أيضاً، وهذه سمة ميزت أغلب المؤلفات الإسلامية حول هذا الموضوع.



الصورة رقم (٤ ـ ١٣)

لازم فلكي من طراز يعرف باسم «دائرة المعدل»، مفيدة بشكل خاص لقياس الزاوية الساعية للشمس أو لأي نجم، على أي خط عرض (نسخة قدمها مشكوراً مدير متحف تاريخ العلوم، مرصد كنْدِيلّي (Kandilli)، اسطنبول).

القسم الثالث: علم الميقات: القياس الفلكي للوقت

مدخل

إن ما يسمى «علم الميقات» هو علم القياس الفلكي للوقت، بشكل عام، بواسطة الشمس والنجوم. وهو بشكل خاص، علم تحديد ساعات (مواقيت) الصلوات الخمس(١٤). وبما أن حدود الفواصل الزمنية المسموح بها للصلاة محددة تبعاً لموقع الشمس الظاهري في السماء بالنسبة إلى الأفق المحلي، فإن أوقات الصلاة تتغير على امتداد السنة وترتبط بخط العرض الأرضي. وعندما يتم حساب أوقات الصلاة تبعاً لخط زوال مختلف عن الخط المحلي، فإنها ترتبط أيضاً بخط الطول الأرضي(١٥).

أوقات الصلاة في الإسلام

لقد تحددت أوقات الصلاة المبينة في القرآن الكريم والحديث الشريف في صيغة شرعية في القرن الثامن للميلاد، واتبعت بشكل دائم منذ ذلك الوقت (انظر الشكلين رقمي (٤ - ١٢) و(٤ - ١٣)). ووفقاً لهذه التحديدات الشرعية، يبدأ اليوم الإسلامي وكذلك الفاصل الزمني لصلاة المغرب، عندما يغيب قرص الشمس في الأفق. وتبدأ الفواصل الزمنية لصلاتي العشاء والفجر عند هبوط الليل وقيام النهار، على التوالي. كما يبدأ الوقت الجائز لصلاة الظهر، عادة، بعد أن تتجاوز الشمس خط الزوال، أي عندما نلاحظ أن ظل جسم ما يبدأ بالنمو. ووفقاً للممارسة التي كانت متبعة في الأندلس والمغرب في

---

(١٤) حول الصلوات في الإسلام، انظر: «Ṣalāt,» dans: *Encyclopédie de l'Islam.*

وحول التطورات الأولى للمؤسسة، انظر: K. Lech, *Geschichte des Islamischen Kultus* (Wiesbaden: Otto Harrassowitz, [n. d.]), Bd. 2: *Das Gebet.*

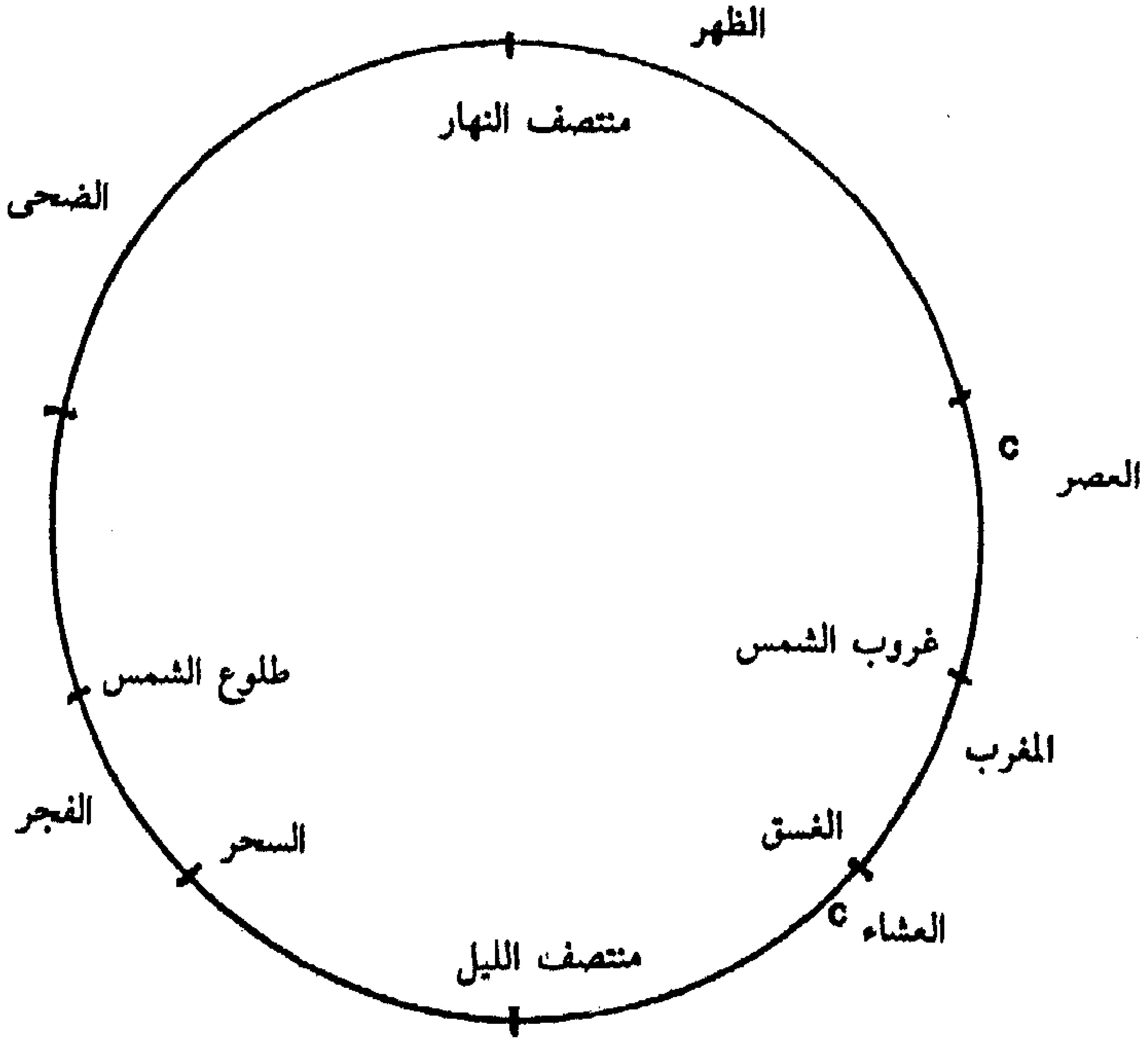
من أجل رؤية عامة حول قياس الوقت في الإسلام، انظر أيضاً: «Mīḳāt,» dans: *Encyclopédie de l'Islam.*

(١٥) حول تحديدات أوقات الصلاة، كما تظهر في المصادر الفلكية، انظر: Eilhard E. Wiedemann and J. Frank, «Die Gebetszeiten im Islam,» *Sitzungsberichte der Physikalischmedizinischen Sozietät in Erlangen,* Bd. 58 (1926), pp. 1 - 32, réimprimé dans: Eilhard E. Wiedemann, *Aufsätze zur Arabischen Wissenschaftsgeschichte,* Collectanea; VI, 2 vols. (Hildesheim; New York: G. Ilms, 1970), vol. 2, pp. 757 - 788.

من أجل مناقشة البيروني، انظر: Kennedy [et al.], *Studies in the Islamic Exact Sciences,* pp. 299 - 310.

حول مصدر هذه التحديدات، انظر: David A. King, «New Light on the Origin of the Prayers in Islam,» in: *Oriens.*

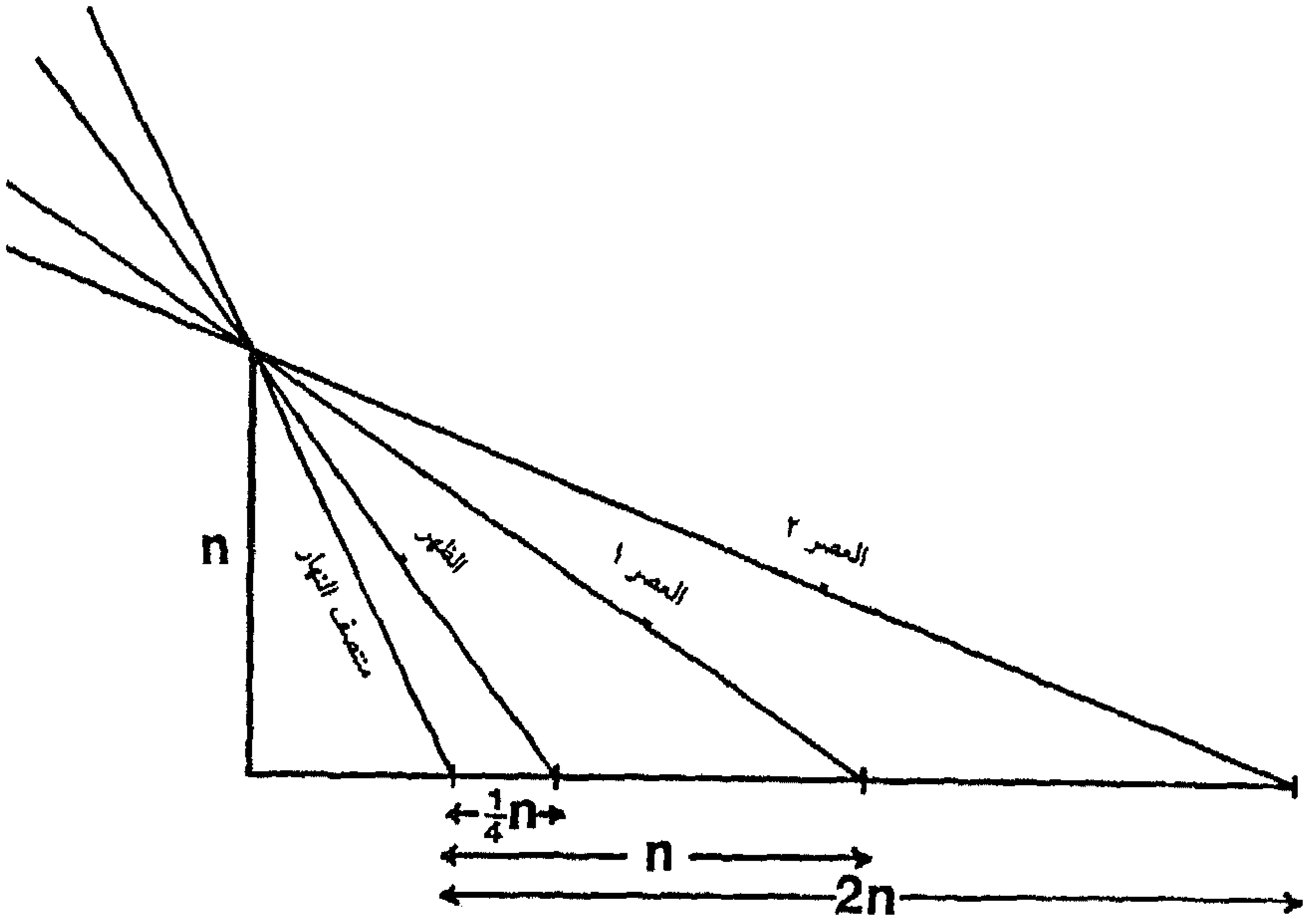
القرون الوسطى، فإن وقت صلاة الظهر يبدأ عندما يتجاوز ظل شاخص ما عمودي، عند الظهيرة، حده الأدنى بمقدار ربع طول الشاخص. كما يبدأ الفاصل الزمني لصلاة العصر عندما يصبح نمو الظل مساوياً لطول الشاخص، وينتهي عندما يصبح هذا النمو معادلاً لضعفي طوله، أو عند غروب الشمس. وفي بعض الأوساط تم اعتماد صلاة إضافية



اليوم الإسلامي

الشكل رقم (٤ ـ ١٢)

يبدأ اليوم الإسلامي عند غروب الشمس، لأن التقويم قمري، والأشهر تبدأ عند رؤية الهلال بعد غروب الشمس بقليل. هناك خمس صلوات شرعية: تتحدد أوقات الصلوات النهارية بواسطة طول الظلال، وأوقات الصلوات الليلية بواسطة ظواهر تحدث في الأفق وبواسطة الغسق والسحر. هناك صلاة سادسة، معتمدة عند بعض الجماعات، اسمها الضحى وتقع في منتصف الصبيحة. انظر كمثال، الصورة رقم (٤ ـ ١٧) لاحقاً (اسطنبول) والصورة رقم (٤ ـ ١١) في القسم الثاني المتعلق بـ «صناعة المزاول» (تونس).



الشكل رقم (٤ ـ ١٣)

تحديدات القرون الوسطى شرعية لصلاتي الظهر (الأندلس والمغرب) والعصر، بواسطة نمو الظل.

مسماة صلاة الضحى، وقد حددت في اللحظة التي تسبق الظهيرة بفاصل زمني مساوٍ للفاصل بين الظهيرة والعصر(١٦).

تبدو أسماء الصلوات النهارية مشتقة من أسماء الساعات الزمنية الموافقة لها في اللغة العربية الكلاسيكية ماقبل الإسلام. وقد تم الحصول على هذه الساعات بقسمة الفاصل الزمني بين شروق الشمس وغروبها إلى اثني عشر جزءاً. ويمثل تحديد أوقات الصلوات تبعاً لنمو الظل (بالمقابلة مع أطوال الظلال المذكورة في الحديث الشريف) وسيلة عملية لضبط الصلوات تبعاً للساعات الزمنية. كما تتطابق تحديدات الضحى والظهر والعصر،

(١٦) حول العمليات التي أوصى بها الفقهاء، وفي مؤلفات الفلك الشائع، انظر: David A. King, «A Survey of Medieval Islamic Shadow Schemes for Simple Timereckoning,» *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften,* Bd. 4 (1987).

تبعاً لنمو الظل، مع ساعات النهار الزمنية الثالثة والسادسة والتاسعة. وتتحدد العلاقة بين هذه الصلوات والساعات الزمنية بواسطة صيغة هندية تقريبية تجمع بين نمو الظل وهذه الساعات (انظر أدناه)[١٧].

تصاميم حسابية بسيطة للظلال من أجل قياس الوقت

قبل أن نباشر بدراسة نشاط الفلكيين المسلمين بصدد «علم الميقات»، تجدر الإشارة إلى أن الجداول والآلات لم تعرف انتشاراً واسعاً في الممارسة الشائعة. وبالمقابل، وكما نعرف من خلال المؤلفات المتعلقة بعلم الفلك الشائع والأحكام الشرعية، فإن صلوات النهار قد جرى ضبطها بواسطة تصاميم حسابية بسيطة للظلال، من الصنف نفسه العائد للتصاميم التي اعتمدها من قبل علم الفلك الشائع الهلينستي والبيزنطي. وقد تم تحديد حوالى عشرين تصميماً مختلفاً في المصادر العربية. لكنها في أغلب الحالات لم تكن وليدة ملاحظة ثاقبة، والقسم الأكبر منها جاء مشوشاً بسبب أخطاء النساخ. وعادة، تعطي هذه التصاميم، لكل شهر من السنة، قيمة واحدة، برقم واحد، لطول ظل عند الظهيرة يعود لإنسان يبلغ طوله سبع أقدام. نعرض تصميماً من هذا الصنف، ورد ذكره في العديد من المصادر (نبدأ مع القيمة التي تعود إلى شهر كانون الثاني):

5 4 2 1 2 3 5 7 9 أو 10 8 6

إن القيم الموافقة لطول الظل، عند بدء صلاة العصر، هي أكبر بسبع وحدات لكل شهر.

ولقد وضع بعض التصاميم الحسابية الأخرى من أجل تحديد طول الظل في كل ساعة زمنية من النهار. وكانت الصيغة الأكثر رواجاً، والتي أوصي باستخدامها لتحديد نمو الظل ($\triangle s$)، بالنسبة إلى حده الأدنى عند الظهيرة، في وقت هو ($T<6$) يقاس بالساعات الزمنية بعد شروق الشمس أو قبل غروبها، هي:

$$T = 6n / (\triangle s + n)$$

---

(١٧) حول صيغ حساب الوقت التي استخدمها الفلكيون المسلمون، انظر مقالات:
M. - L. Davidian; N. Nadir and Bernard R. Goldstein, in: Kennedy [et al.], Ibid.,
والدراسات التي يأتي تعدادها فيما يلي.

حيث يمثل n طول الشاخص. هذه أول صيغة استخدمت لتحديد القيم $\Delta s = n$ للساعة الزمنية الثالثة والتاسعة من النهار (بدء الضحى والعصر)، و$\Delta s = 2n$ لتحديد الساعة العاشرة (المعتمدة أحياناً كنهاية للعصر).

وقد وجدت نماذج أخرى بسيطة لقسمة الوقت، لا تزال تستخدم في مناطق زراعية مختلفة من العالم الإسلامي لتنظيم الري[(١٨)].

أقدم الجداول لقياس الوقت[(١٩)]

من المعروف أن الخوارزمي هو الذي وضع الجداول الأولى المعروفة لضبط أوقات صلاة النهار، وذلك في بغداد في بداية القرن التاسع للميلاد. وتبين هذه الجداول، التي تم حسابها لخط عرض بغداد، أطوال ظل شاخص باثنتي عشرة وحدة طول، في لحظة الظهر، وفي بداية العصر ونهايته، مع قيم لفواصل من 6 إلى 6 درجات من خط طول الشمس (مطابقة بشكل تقريبي لفواصل من ستة أيام من العام) (انظر الصورة رقم (٤ ـ ١٤)). وقد وضع الخوارزمي أيضاً بضعة جداول أخرى بسيطة، تبين أوقات النهار، في ساعات زمنية، تبعاً لإرتفاع الشمس المرصود، وقد بنيت هذه الجداول على صيغة تقريبية.

وقد وضع الفلكي علي بن أماجور في القرن التاسع للميلاد، جدولاً أكثر تطوراً

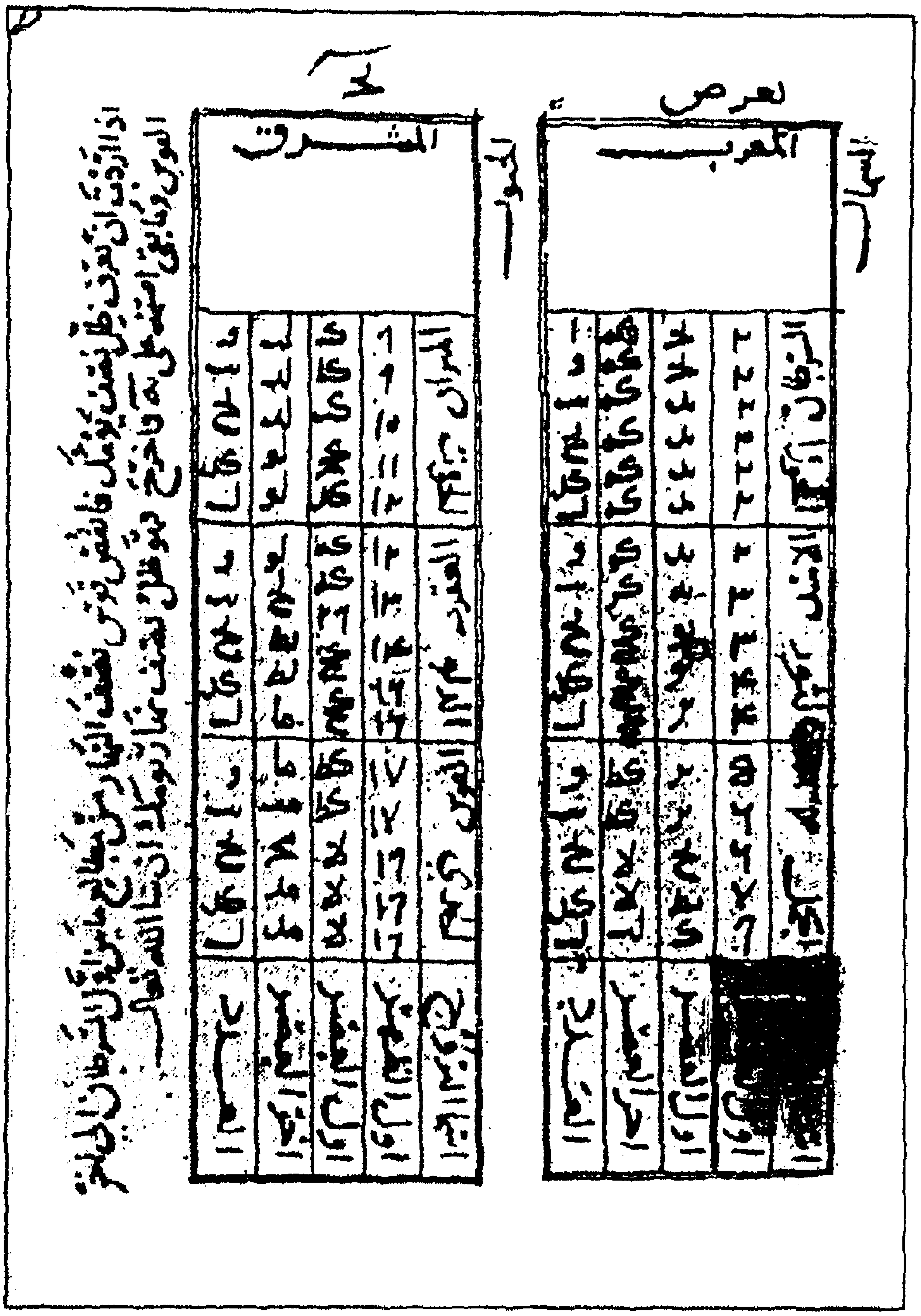
---

(١٨) حول الحلول (جداول وآلات) التي يمكن استخدامها لكل خطوط العرض، انظر: David A. King: «Universal Solutions in Islamic Astronomy,» in: J. L. Berggren and Bernard Raphael Goldstein, eds., *From Ancient Omens to Statistical Mechanics: Essays on the Exact Sciences Presented to Asger Aaboe* (Copenhagen: [n. pb.], 1987), pp. 121 - 132, and «Universal Solutions to Problems of Spherical Astronomy from Mamluk Egypt and Syria,» in: Farhad Kazemi and R. D. McChesney, eds., *A Way Prepared: Essays on Islamic Culture in Honor of Richard Bayly Winder* (New York: New York University Press, ©1988), pp. 153 - 184.

(١٩) حول أقدم الجداول المعروفة المستخدمة لتحديد أوقات الصلاة ولحساب ساعة النهار انطلاقاً من ارتفاع الشمس، انظر: King, «Al-Khwârizī and New Trends in Mathematical Astronomy in the Ninth Century,» especially pp. 7-11.

حول المراكشي ومؤلفه، انظر: «القسم الثاني: صناعة المزاول: نظرية وتركيب المزاول»، ضمن هذا الفصل، وانظر أيضاً: David A. King, «The Astronomy of the Mamluks,» *Isis*, vol. 74, no. 274 (December 1983), pp. 539 - 540 and 534 - 535, reprinted in: David A. King, *Islamic Mathematical Astronomy*, Variorum Reprint, CS 231 (London: Variorum Reprints, 1986), III.

حول مؤسسة حُسّاب الوقت المحترفين في المساجد، انظر: David A. King, «On the Role of the Muezzin and the Muwaqqit in Medieval Islamic Society,» paper presented at: A. I. Sabra, ed., *Proceedings of the Conference on Islamic Intellectual History, Harvard University, May 1988.*



الصورة رقم (٤ ـ ١٤)

أقدم جدول إسلامي معروف يستخدم لتحديد
أوقات الصلاة في النهار، ارتبط به اسم الخوارزمي.
(برلين، Ahlwardt ٥٧٩٣، الورقة ٩٤ظ، تم نسخه بعد
إذن كريم من مدير Deutsche staatsbibliothek).

لحساب الوقت، مبنياً على صيغة تقريبية بسيطة، يمكن استخدامها لكل خطوط العرض. أما الصيغة الأساس فهي:

$$T = 1/15 \text{ arc sin } (\sin h / \sin H),$$

حيث تمثل h ارتفاع الشمس المرصود، H الارتفاع الزوالي، و ($T \leqslant 6$) الوقت المنقضي منذ شروق الشمس أو الباقي حتى غروبها، وذلك في ساعات زمنية.

(نرى أن $T = 0$ عندما يكون $h = 0$، و$T = 6$ عندما يكون $h = H$، وذلك كما تقتضيه، على التوالي، حالتا وجود الشمس في الأفق وفي خط الزوال. وتجدر الإشارة إلى أن هذه الصيغة، في الواقع، هي دقيقة فقط عند وجود الشمس في الاعتدالين). وقد جدول ابن أماجور $T(h, H)$، فقط لكل درجة من البعدين الزاويين ($h < H$).

ونجد في الموجزات الفلكية، وابتداءً من القرن التاسع للميلاد، وصفاً لطريقة دقيقة تسمح بتحديد الوقت المنقضي منذ شروق الشمس بدرجات استوائية T، أو بقيمة الزاوية الساعية المقابلة t، انطلاقاً من القيمتين h وH، أو انطلاقاً من h وφ وδ، حيث φ هي خط العرض المحلي وδ هي الميل الزاوي (نشير الى أن $H = 90° - \varphi + \delta$). يدخل في هذه العمليات القوس نصف اليومي D، وتتطلب العمليات استخدام الدالة فرق جيب تمام الزاوية عن الواحد ($\text{vers } \theta = 1 - \cos \theta$) (انظر الفصل الخامس عشر: علم المثلثات). وتكتب الصيغة الشرعية التي سادت في القرون الوسطى، التي استعارها المسلمون من مصادر هندية (بالصيغة الحديثة) على الشكل التالي:

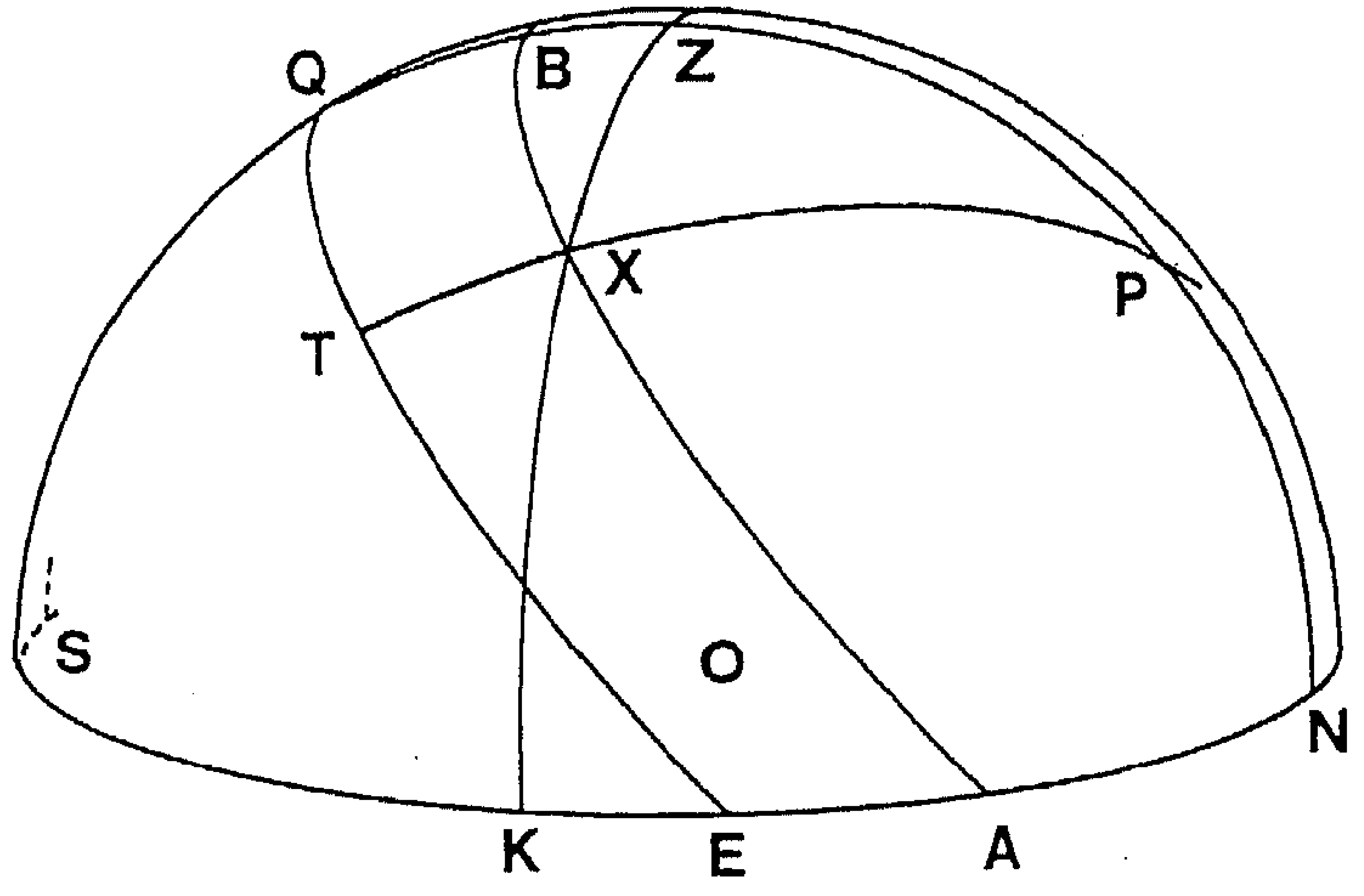
$$\text{vers } t = \text{vers } (D - T) = \text{vers } D - \sin h \text{ vers } D / \sin H;$$

ويمكن الحصول بسهولة على هذه الصيغة بتحويل المسألة الموضوعة بثلاثة أبعاد على الكرة السماوية إلى مسألة ببعدين (انظر الشكلين رقمي (٤ ـ ١٤) و(٤ ـ ١٥)). يمكن الحصول أيضاً على الصيغة الحديثة المعادلة للصيغة التي تعود الى القرون الوسطى للزاوية الساعية t، بعمليات مشابهة، وهي تكتب على الشكل التالي:

$$\cos t = (\sin h - \sin \delta \sin \varphi) / (\cos \delta \cos \varphi),$$

وقد استخدم الفلكيون المسلمون المتأخرون صيغة مكافئة لهذه الصيغة. وقد كان العديد من الجداول الإسلامية شاملاً، بمعنى أنها كانت قابلة للاستخدام لجميع خطوط العرض الأرضية.

نجد، ابتداءً من القرن التاسع، وصفاً يبين كيفية تحديد الساعة في النهار أو في الليل باستخدام آلة حساب كالأسطرلاب، أو جهاز حساب كربعية الجيوب. وفي حالة

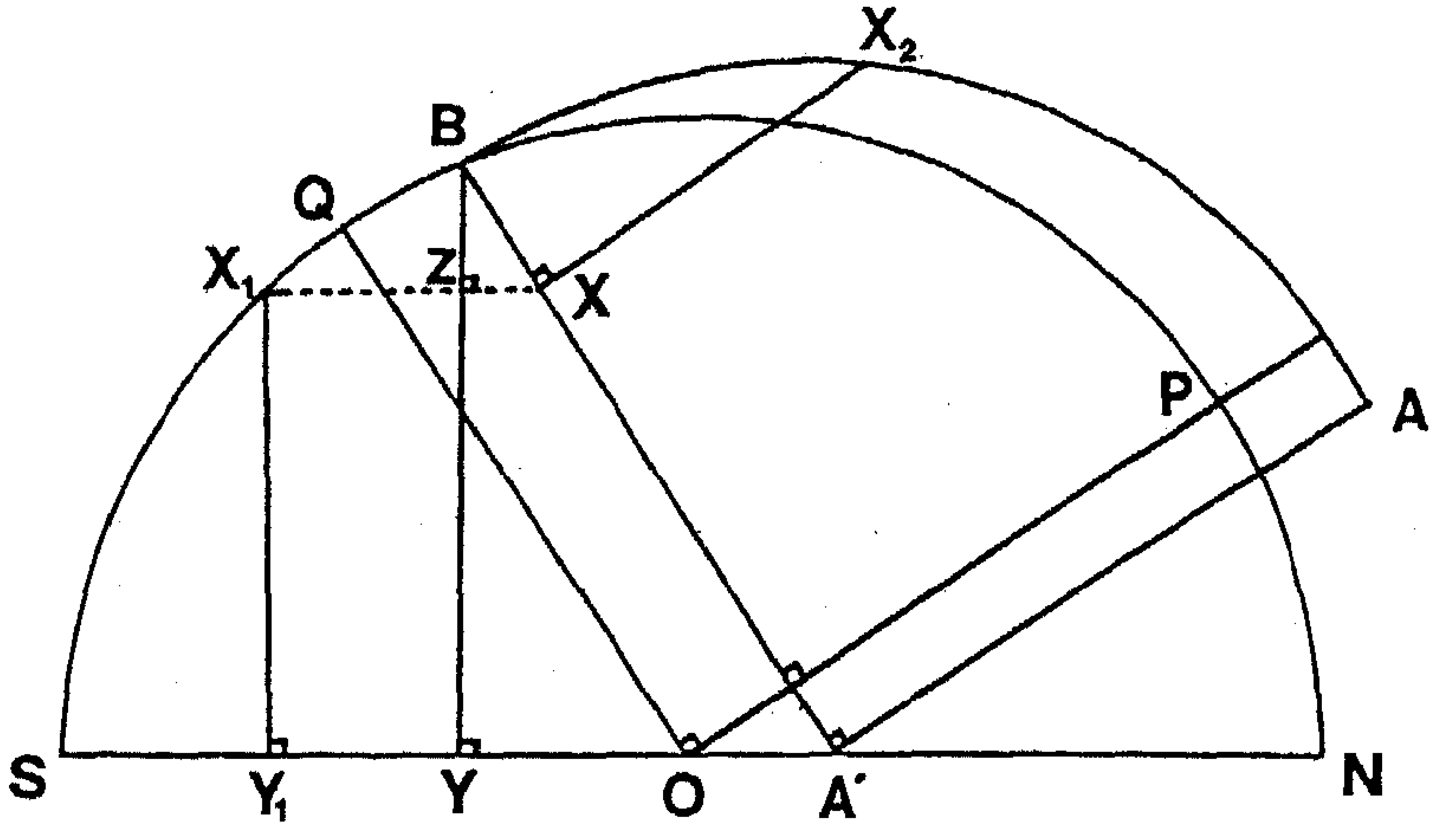


الشكل رقم (٤ ـ ١٤)

تصوير لقبة سماوية حول المراقب الموجود في O. الأفق، مع النقاط الإحداثية، هو NES (W). خط الاستواء السماوي هو EQ (W)، والمحور السماوي OP، وسمت الرأس Z. يبزغ جرم سماوي في A، يبلغ الأوج على خط الزوال في B، ويأفل في C. لنأخذ موقعاً لحظياً X، يقاس ارتفاعه بالقوس XK: تقاس الزاوية الساعية في هذه اللحظة بواسطة قوس الاستواء السماوي TQ (أو بواسطة الزاوية TPQ) ويقاس السمت بواسطة قوس الأفق EK.

الأسطرلاب لا حاجة لمعرفة الصيغة، أما في الحالة الثانية فتستخدم الصيغة لأمثلة معينة في الحساب. وهنا أيضاً، تم ابتكار عدد من الآلات الإسلامية لتكون شاملة ولتستخدم لكل خطوط العرض الأرضية.

وقد وضع علي بن أماجور أيضاً جدولاً لـ T (h, H) خاصاً ببغداد، مبنياً على صيغة مثلثاتية دقيقة. وقد حفظ العديد من جداول الصلاة المغفلة الخاصة ببغداد في زيج عراقي يعود إلى القرن الثالث عشر للميلاد. وتعطينا هذه الجداول، على سبيل المثال، بالإضافة إلى أوقات الصلاة اليومية، مدة الغسق، وذلك لكل يوم من أيام السنة. ومن المحتمل أن تكون هذه الجداول قد وضعت في العصر العباسي، وقد تعود إلى القرن العاشر للميلاد. وفي الواقع، وجدت تقديرات لقيمة زاوية انخفاض الشمس عند هبوط الليل وقيام النهار، وذلك في زيج الفلكي حبش الحاسب في القرن التاسع للميلاد. كما وجدت جداول منفصلة، تبين ارتفاع الشمس في اللحظات المحددة لصلاتي الظهر والعصر، وتبين فترات السحر والغسق، يمكن رؤيتها في العديد من الأعمال الفلكية الأخرى التي تعود

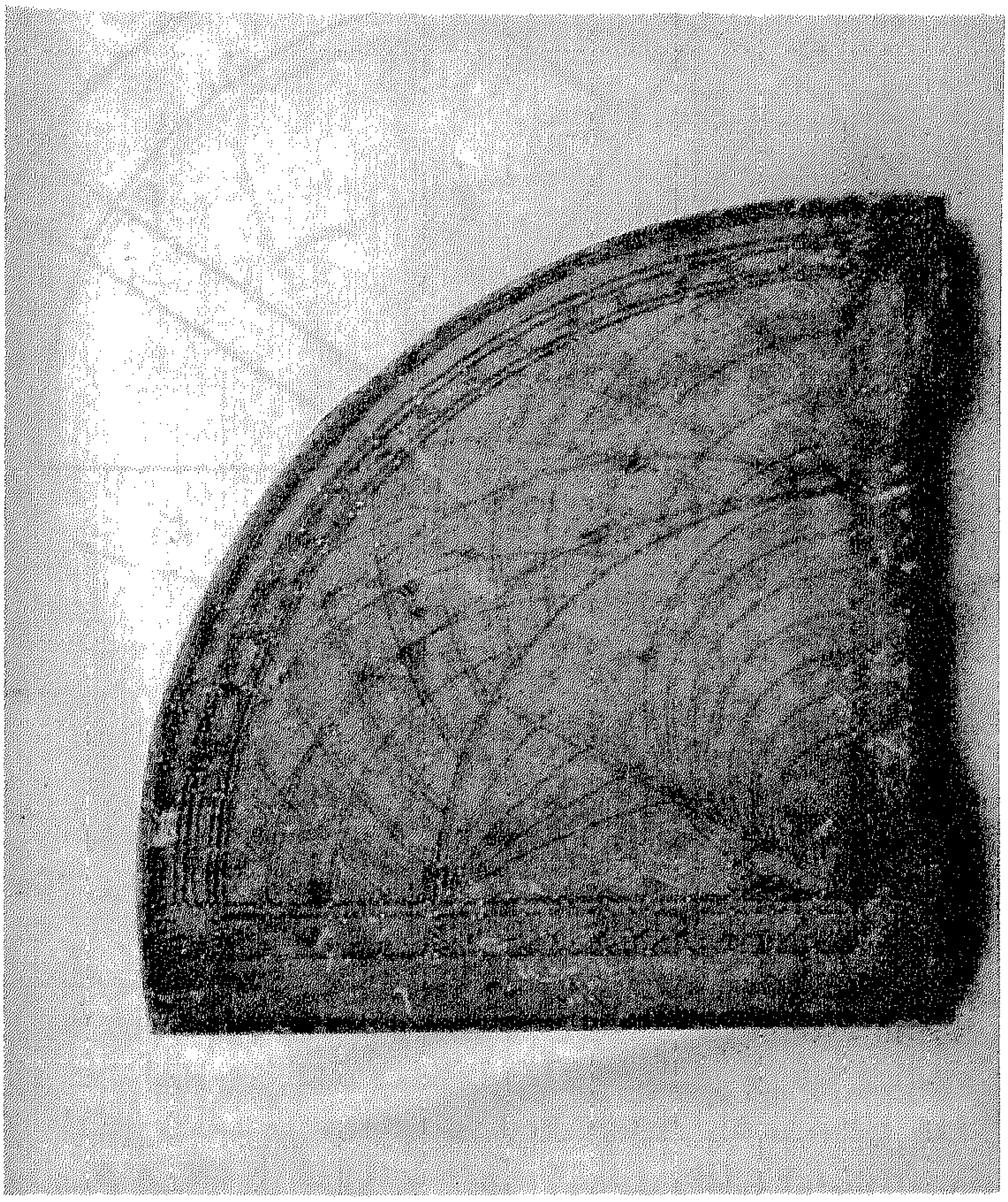


الشكل رقم (٤ ـ ١٥)

بناء يسمى بـ «analemme» يسمح بتحديد الزاوية الساعية انطلاقاً من الارتفاع المرصود للشمس أو لنجم ثابت ما. إن القبة السماوية المصورة بثلاثة أبعاد والتي تملك شعاعاً مأخوذاً كوحدة قياس يتم أولاً إسقاطها بشكل متعامد على مستوي خط الزوال SQBN. بناءً عليه، تمثل OQ و A′ B′ وSN على التوالي خط الاستواء السماوي والدائرة اليومية والأفق، وتكون النقطة X′ مسقط X. نطبق دائرة الارتفاع (قوس ZXK على الشكل رقم (٤ ـ ١٤)) حول شعاعها ZO على مستوي خط الزوال: X تقع في X_1، بحيث إن $X_1S = h$؛ وينتج عن ذلك $X_1Y_1 = \sin h$. نشير أيضاً الى أن $BY = \sin H$. عندئذ نطبق الدائرة اليومية (قوس AB على الشكل رقم (٤ ـ ١٤)) حول قطرها المار بالنقطة B على مستوي خط الزوال (مما ينتج قوس دائرة شعاعها $\cos \delta$). تنتقل النقطة X (على الشكل رقم (٤ ـ ١٤)) عمودياً على BA′ وتقع في X_2 (على الشكل رقم (٤ ـ ١٥))، وتقيس BX_2 الزاوية الساعية، وتقيس BA القوس نصف اليومي D. نشير الى أن المثلثين BZX′ و BYA′ هما متشابهان. نتيجة لذلك:

$$BX' / BA' = \text{vers } t / \text{vers } D = BZ/BY = (\sin H - \sin h) / \sin H$$

من هنا الصيغة الشرعية التي سادت في القرون الوسطى لـ $t\,(h, H)$.



الصورة رقم (٤ ـ ١٥)
الربع المجيب (القاهرة، مخطوطة المكتبة الوطنية).
صنع هذا الربع عرب زاده عارف سنة ١١١٧/٥ ـ ١٧٠٤،
ويبلغ نصف قطره ١٢ سنتيمتراً.

إلى القرون الوسطى الإسلامية القديمة، وعادة في الأعمال التي تحمل اسم الزيج(٢٠).

ظهرت نماذج عديدة من الجداول الموسعة التي تسمح بحساب ساعة النهار بواسطة ارتفاع الشمس، أو ساعة الليل بواسطة ارتفاع بعض النجوم البارزة. وقد تم حساب جميع هذه الجداول لمكان معين، وهي تعطي إما T (h, H) أو T (h, λ)، حيث λ تمثل خط طول الشمس. ومن أجل استخدام أحد هذه الجداول كانت هنالك حاجة لآلة كالأسطرلاب مثلاً، لقياس الارتفاعات السماوية أو لقياس مرور الوقت. لكن، لا شيء يؤكد أن هذه الجداول القديمة كانت تستخدم على نطاق واسع.

كان تطور الجداول المثلثاتية الإضافية إبان القرنين التاسع والعاشر للميلاد مثيراً للاهتمام بشكل خاص، لكونه يعمل على تسهيل حل مسائل الفلك الكروي، ولا يقتصر فقط على تسهيل حل المسائل المتعلقة بحساب الوقت. إن الجداول الإضافية لحبش ولأبي نصر (أقام في آسيا الوسطى، حوالى سنة ١٠٠٠م) هي الأبرز من وجهة نظر رياضية. أما جداول الخليلي الشاملة، الموضوعة لحساب الوقت، فينبغي تفحصها في ضوء هذه التطورات السابقة(٢١).

---

(٢٠) حول مدونات جداول القاهرة، تعز، دمشق والقدس، تونس واسطنبول، انظر على التوالي:
David A. King: «Ibn Yūnus' Very Useful Tables for Reckoning Time by the Sun,» *Archive for History of Exact Sciences,* vol. 10 (1973), pp. 342 - 394; «Mathematical Astronomy in Medieval Yemen,» *Arabian Studies,* vol. 5 (1979), p. 63, and «Astronomical Timekeeping in Fourteenth - Century Syria,» paper presented at: *Proceedings of the First International Symposium for the History of Arabic Science... 1976* (Aleppo: University of Aleppo, Institute for the History of Arabic Science, 1978), vol. 2, pp. 75 - 84 and planches; Edward Stewart Kennedy and David A. King, «Indian Astronomy in Fourteenth - Century Fez: The Versified Zīj of al-Qusunṭīnī,» *Journal for the History of Arabic Science,* vol. 6, nos. 1 - 2 (1982), pp. 8 - 9, and David A. King, «Astronomical Timekeeping in Ottoman Turkey,» paper presented at: Muammer Dizer, ed., *Proceedings of the International Symposium on the Observatories in Islam, Istanbul, 19 - 23 September 1977* (Istanbul: [n. pb.], 1980), pp. 245 - 269.

وقد أعيد طبع كل هذه المقالات في: King, *Islamic Mathematical Astronomy.*

(٢١) حول جداول حبش وأبي نصر والخليلي الإضافية، انظر على التوالي: Rida A. K. Irani, «The *Jadwal at- Taqwīm* of Ḥabash al-Ḥāsib,» (Unpublished M. A. Dissertation, American University of Beirut, 1956); Claus Jensen, «Abū Naṣr Manṣūr's Approach to Spherical Astronomy as Developed in His Treatise *«The Table of Minutes»,*» *Centaurus,* vol. 16, no. 1 (1971), pp. 1 - 19, and David A. King, «Al-Khalīlī's Auxiliary Tables for Solving Problems of Spherical Astronomy,» *Journal for the History of Astronomy,* vol. 4 (1973), pp. 99 - 100, reprinted in: = King, *Islamic Mathematical Astronomy.*

مؤسسة «الموقت»

كان تنظيم أوقات الصلاة، وفقاً للممارسة المتبعة قبل القرن الثالث عشر على الأقل، يقع على عاتق المؤذن. وتتم عملية تسمية هؤلاء المؤذنين نظراً لجودة أصواتهم المميزة ولسمعتهم الطيبة، وكان لزاماً عليهم أن يلموا بالمبادىء الأولية لعلم الفلك الشائع. فقد كان عليهم معرفة الظلال في لحظات الظهر والعصر من كل شهر، كما عليهم أن يعرفوا أي منزل قمري يظهر عند مطلع الفجر ويختفي عند هبوط الليل، وكانت هذه المعلومات مصاغة بشكل يسمح بحفظها. لذلك لم يكن المؤذنون بحاجة إلى الاستعانة بجداول أو آلات فلكية. إن التقنيات الضرورية معروضة في الفصول المتعلقة بالصلاة في كتب أحكام الشريعة، أما المؤهلات المطلوبة من المؤذن فكانت أحياناً معروضة بشكل مفصل في المؤلفات المرتبطة بالنظام العام (الحسبة أو الاحتساب).

وقد حصل تطور جديد إبان القرن الثامن للميلاد، لكن أصوله ظلت غامضة. ففي هذا القرن نجد في مصر أول إشارة إلى «الموقت»، الفلكي المحترف المرتبط بمؤسسة دينية، الذي تقوم مهمته الأساسية على تنظيم أوقات الصلاة. كما ظهر في العصر نفسه فلكيون موصوفون كميقاتيين، متخصصون في علم الفلك الكروي وفي القياس الفلكي للوقت، لكن دون أن يكونوا مرتبطين بالضرورة بمؤسسة دينية معينة.

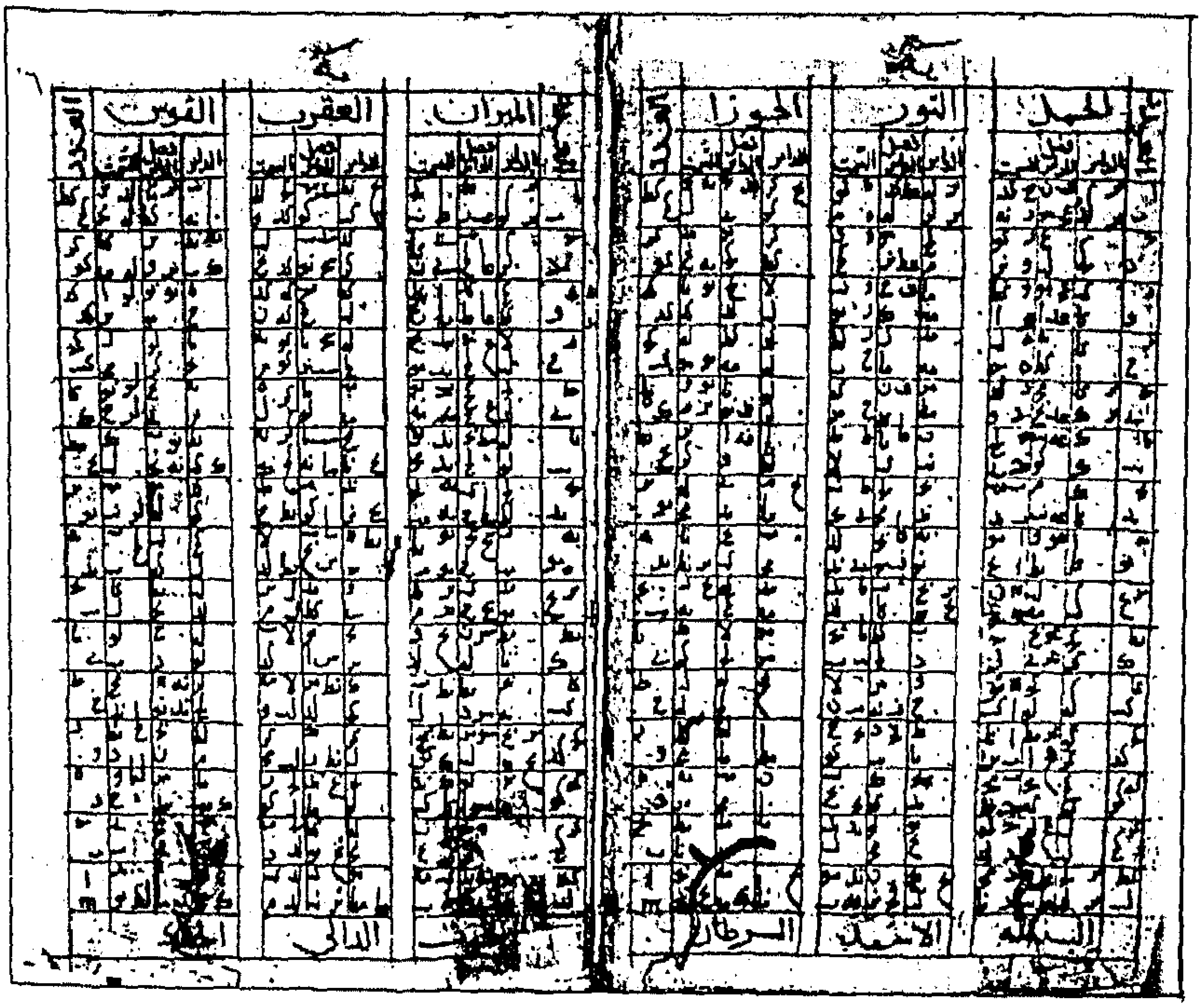
قياس الوقت في مصر في عهد المماليك

وضع ميقاتي يسمى بأبي علي المراكشي، كان مقيماً في القاهرة في نهاية القرن الثامن، وانطلاقاً من مصادر سابقة، مؤلفاً موجزاً عن الفلك الكروي وعن الآلات. وقد كُتب لهذا المؤلف أن يحدد مسار علم الميقات لقرون عديدة. وهو يحمل بجدارة العنوان التالي: **جامع المبادىء والغايات في علم الميقات**. وقد تمت دراسته للمرة الأولى على يدي كل من سيديّو (Sédillot) الأب والابن في القرن التاسع عشر.

كما اقتبس شهاب الدين المقسي، وهو معاصر للمراكشي، مجموعة جداول (وذلك بشكل واضح عن مجموعة أكثر قدماً وربما أقل اتساعاً، كان قد ألفها الفلكي ابن يونس في القرن العاشر). وتعطي هذه الجداول الوقت المنقضي منذ شروق الشمس تبعاً لارتفاعها ولخط الطول، وذلك لخط العرض الخاص بالقاهرة. وقد تم توسيع وتطوير هذه

= من أجل تحليل لكل الجداول المتوفرة، انظر: David A. King, *Studies in Astronomical Timekeeping in Islam* (New York: Springer - Verlag, [n. d.]), vol. 1: *A Survey of Tables for Reckoning Time by the Sun and Stars,* and vol. 2: *A Survey of Tables for Regulating the Times of Prayer.*

الجداول في القرن الرابع عشر، في مدونة تغطي نحو مئتي صفحة مخطوطة، تتضمن أكثر من ثلاثين ألف مدخل. وقد استخدمت مدونة جداول القاهرة هذه لقياس الوقت خلال عدة قرون، كما حفظت في نسخات عديدة، ولا توجد بينها اثنتان تحتويان على الجداول نفسها. وتتضمن هذه المدونة جداول موسعة تعطي الوقت المنقضي منذ شروق الشمس، والزاوية الساعية (الوقت الباقي حتى الظهر)، وسمت الشمس لكل درجة خط طول شمسي (وهي جداول تشكل بمداخلها، التي تعد ثلاثين ألفاً تقريباً، الجزء الأعظم من المدونة) (انظر الصورة رقم (٤ ـ ١٦))، وتضم أيضاً جداول أخرى تعطي ارتفاع الشمس



الصورة رقم (٤ ـ ١٦)

مقطع من جداول في مدونة القاهرة تستخدم لحساب الوقت. يعطي الجدول المبين قيم الدالات الثلاث: الزاوية الساعيّة والوقت المنقضي منذ شروق الشمس والسمت، وذلك لكل درجة من خط طول الشمس، عندما تملك الشمس ارتفاعاً قيمته 15° فوق الأفق (القاهرة، دار الكتب، ميقات ٦٩٠، الورقتان ١٥ظ ـ ١٦و، تم نسخه بعد إذن كريم من مدير المكتبة الوطنية المصرية).

والزاوية الساعية في لحظة العصر، وارتفاع الشمس والزاوية الساعية عندما تكون الشمس في اتجاه القبلة، وفترتي السحر والغسق.

كما توجد في بعض النسخات المتأخرة من مدونة القاهرة جداول تحدد خلال شهر رمضان اللحظة التي يجب أن تكون فيها القناديل الموضوعة على المئذنة مطفأة، واللحظة التي ينبغي على المؤذن أن ينطق فيها بالصلاة على النبي محمد (ﷺ). وفي بعض النسخات القديمة أو المتأخرة هنالك جدول يتعلق باتجاه منافذ الهواء الكبيرة، التي كانت ميزة لافتة للنظر في سماء القاهرة خلال مرحلة القرون الوسطى. فقد كانت هذه المنافذ متراصفة على تصميم طرق مدينة العائدة للقرون الوسطى المتعامد تقريباً؛ والتصميم نفسه موجه فلكياً نحو شروق الشمس في الانقلاب الشتوي (انظر القسم الأول: القبلة).

ووضع المقسي كذلك مؤلفاً واسعاً حول نظرية المزولة، يتضمن جداول إحداثيات تسمح برسم المنحنيات على المزاول الأفقية وذلك لخطوط عرض مختلفة، كما تسمح برسم المنحنيات على المزاول العمودية مهما كان انحراف هذه المنحنيات على خط الزوال المحلي وذلك لخط عرض القاهرة (انظر القسم الثاني: صناعة المزاول). وكانت هذه المنحنيات مفيدة بوجه خاص في صناعة المزاول على أسوار مساجد القاهرة، كما كانت المنحنيات الخاصة بالظهر والعصر تسمح للمؤمن أن يحدد الوقت الباقي لدعوة المؤذن إلى الصلاة.

كما وضع الفلكي القاهري نجم الدين، معاصر المراكشي والمقسي، جدولاً لقياس الوقت، كان من المفترض أن يصلح لجميع خطوط العرض وأن يستخدم نهاراً بواسطة الشمس وليلاً بواسطة النجوم. إن الدالة المجدولة هي T (h, H, D)، حيث تمثل D نصف قوس رؤية الجرم السماوي فوق الأفق. وفي هذا الجدول يرتفع عدد المداخل إلى أكثر من ربع مليون. ولكنه لم يستخدم بشكل واسع وإنما عرف بنسخة وحيدة، قد تكون تلك التي كتبت بيد واضعه.

وقد مارست كتابات المراكشي وأعمال الموقتين القدامى تأثيراً في منطقة أخرى من العالم الإسلامي هي اليمن، إذ مورس علم الفلك الرياضي وتم تشجيعه خلال فترة حكم بني الرسول. ونذكر بشكل خاص السلطان الأشرف (حكم بين العامين ١٢٩٥ و١٢٩٦م) الذي وضع مؤلفاً حول التجهيزات مستوحى من مؤلف المراكشي. كما جمع الفلكي اليمني أبو العقول، الذي عمل عند السلطان المؤيد في تعز، مدونة جداول لقياس الوقت في النهار والليل، وكانت أوسع مدونة من هذا الطراز وضعها فلكي مسلم وتعد أكثر من مئة ألف مدخل.

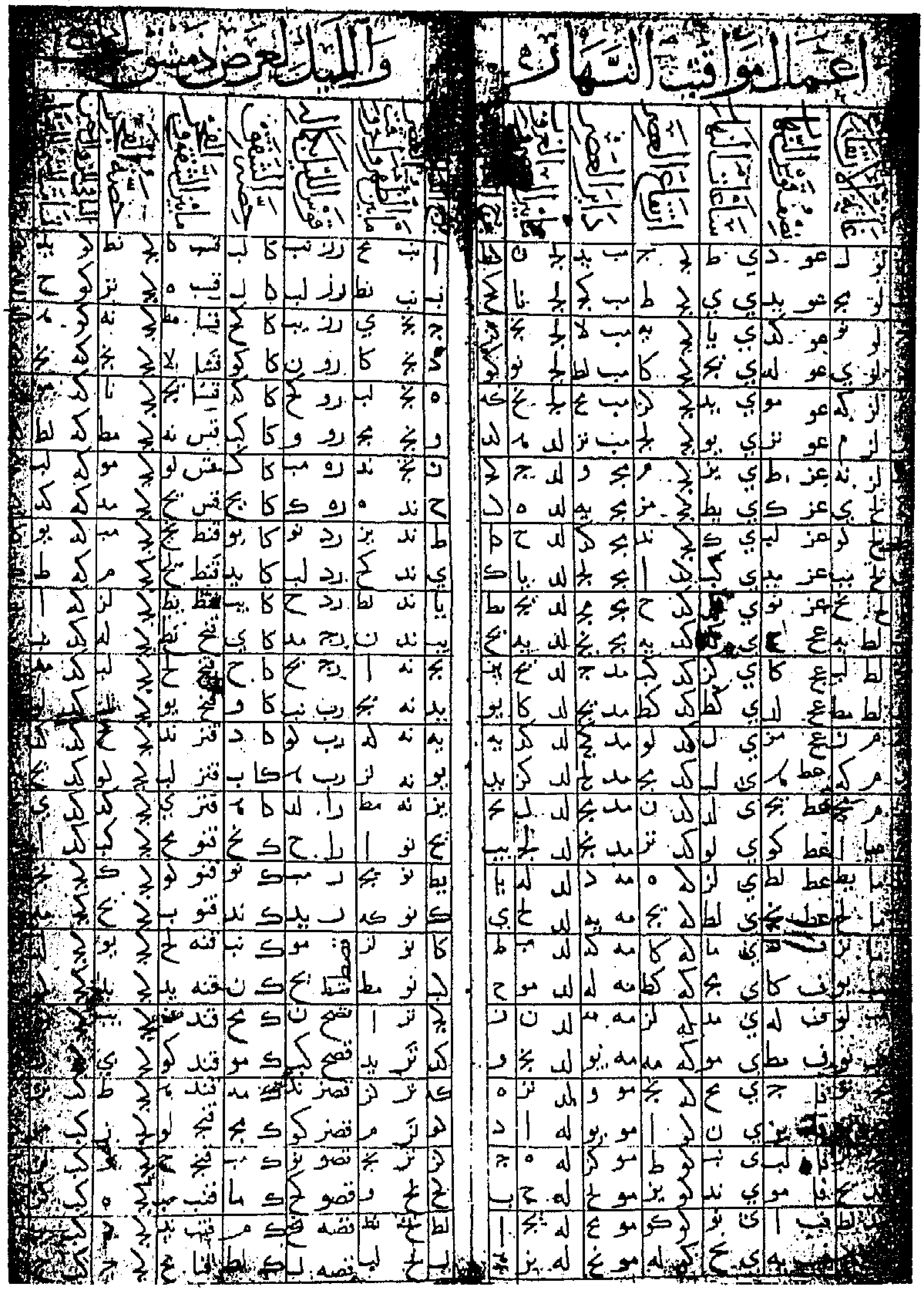
وكان في القاهرة إبان القرن الرابع عشر العديد من الموقتين الذين أنتجوا أعمالاً علمية قيمة، إلا أن مركز النشاط الأساسي بصدد «علم الميقات»، وخلال ذلك القرن، كان موطنه سوريا.

قياس الوقت في سوريا خلال القرن الرابع عشر

اخترع الفلكي الحلبي ابن السراج، الذي نعلم أنه قصد مصر، سلسلة أسطرلابات شاملة وربعيات خاصة وجداول في حساب المثلثات، كانت تهدف جميعها إلى قياس الوقت. تمثل أعماله هذه ذروة الإنجازات الإسلامية في مجال الآلات الفلكية. كما درس فلكيان كبيران سوريان آخران، هما المزي وابن الشاطر، علم الفلك في مصر. ورجع المزي إلى سوريا حيث وضع مجموعة جداول للزوايا الساعية، وجداول أخرى للصلاة خاصة بدمشق، وذلك على غرار مدونة القاهرة. ووضع ابن الشاطر بضعة جداول للصلاة تتعلق بمكان لم تتم الإشارة إليه، ومن المحتمل أن يكون هذا المكان طرابلس، المدينة المملوكية الجديدة. وقد وضع المزي كذلك مؤلفات مختلفة حول الآلات. ومن جهته، وجه ابن الشاطر اهتمامه نحو علم الفلك النظري والنماذج السيارة. لكنه مع ذلك، ابتكر أجمل مزولة عرفت في العصر الإسلامي الوسيط (انظر القسم الثاني: صناعة المزاول).

وقد حصل التقدم الأهم في «علم الميقات» على يد الفلكي شمس الدين الخليلي، زميل المزي وابن الشاطر. فقد أعاد الخليلي حساب جداول المزي مع الوسيطين الجديدين (خط عرض المكان وميل فلك البروج) اللذين وجدهما ابن الشاطر (انظر الصورة رقم (٤ ـ ١٧)). وقد استمر استخدام مدونته المتضمنة للجداول والمعدة لقياس الوقت بالاستعانة بالشمس ولتنظيم أوقات الصلاة، في دمشق حتى القرن التاسع عشر. فقد جدول لكل درجة من درجات خط طول الشمس λ، الدالات التالية: الارتفاع الزوالي للشمس؛ القوس نصف اليومي؛ عدد ساعات النهار؛ ارتفاع الشمس عند ابتداء العصر؛ الزاوية الساعية عند ابتداء العصر؛ الفاصل الزمني بين ابتداء العصر وغروب الشمس؛ الفاصل الزمني بين الظهيرة ونهاية العصر؛ فترة الليل؛ فترة الغسق؛ فترة الليل البهيم (من هبوط الليل حتى مطلع الفجر)؛ فترة السحر؛ الوقت المتبقي حتى حلول الظهيرة، انطلاقاً من اللحظة التي تكون فيها الشمس في اتجاه مكة.

إن المداخل لكل هذه الدالات، باستثناء الثالثة، معطاة بالدرجات والدقائق من خط الاستواء (حيث تطابق الدرجة الواحدة 4 دقائق من الزمن). وتتضمن هذه الجداول ٢١٦٠ مدخلاً. كما جدول الخليلي أيضاً الزاوية الساعية t تبعاً لارتفاع الشمس h ولخط طول الشمس λ، وذلك لخط عرض دمشق. وتتضمن جداول الدالة $t(h, \lambda)$ عشرة آلاف مدخل تقريباً.



الصورة رقم (٤ ـ ١٧)

مقطع من جداول الصلاة لدمشق، وضعها الخليلي. يتعلق الجدول المبين بخطوط طول الشمس في برج الدلو وبرج العقرب، والدالات الاثنتي عشرة هي مجدولة لكل درجة من خط الطول على صفحة مزدوجة. (باريس، المكتبة الوطنية، المقالة ٢٥٥٨، الورقتان ١٠ظ ـ ١١و، تم نسخه بعد إذن كريم من مدير المكتبة الوطنية).

ووضع الخليلي، بالإضافة إلى ذلك، بضعة جداول لدالات مثلثاتية إضافية تناسب كل خطوط العرض. وتعتبر هذه الجداول عملية أكثر من سابقاتها من الصنف نفسه، والتي وضعها حبش. والدالات المجدولة هي:

$$f(\varphi, \theta) = R \sin\theta / \cos\varphi$$

$$g(\varphi, \theta) = \sin\theta \operatorname{tg}\varphi / R$$

$$k(x, y) = \arc\cos(Rx/y)$$

حيث أساس الدالات المثلثاتية هو $R = 60$. ويتجاوز العدد الكامل للمداخل في هذه الجداول الإضافية ١٣٠٠٠ مدخل. والقيم فيها معطاة حتى رقمين في النظام الستيني وكانت دائماً صائبة. وبواسطة هذه الجداول يمكن تحديد الزاوية الساعية بأقل قدر ممكن من العمليات الحسابية. وقد قدم الخليلي الصيغة التالية:

$$t(h, \delta, \varphi) = k\{[f(\varphi, h) - g(\varphi, \delta)], \delta\}$$

المعادلة للصيغة الحديثة. بالإضافة إلى ذلك، فإن السمت a الموافق (المقاس انطلاقاً من خط الزوال) معطى على الشكل التالي:

$$a(h, \delta, \varphi) = k\{[g(\varphi, h) - f(\varphi, \delta)], h\}.$$

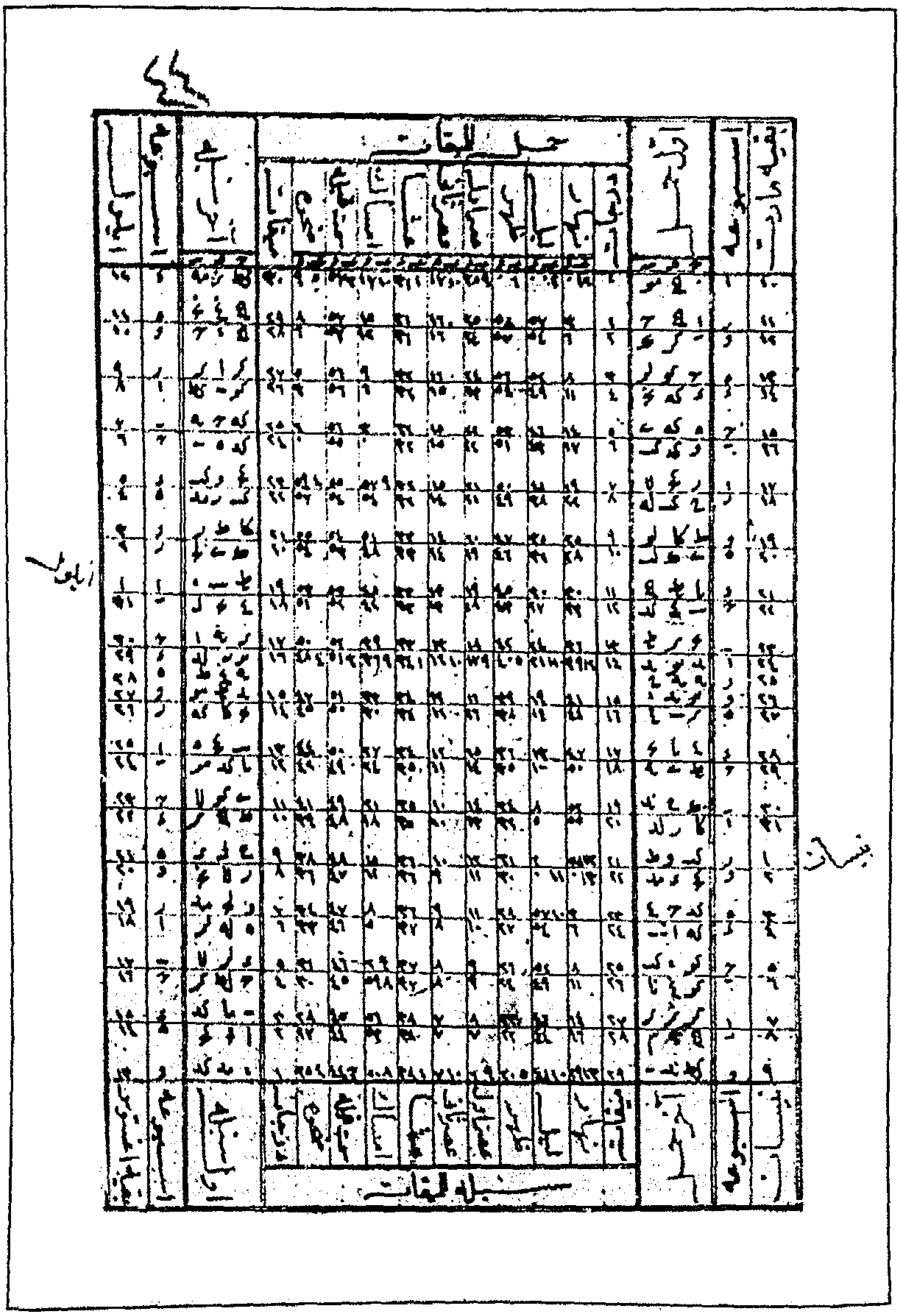
تستطيع هذه الجداول أن تحل عددياً أية مسألة يمكن حلها، بمصطلحات حديثة، بواسطة صيغة جيب التمام من حساب المثلثات الكروي.

وقد وضع الخليلي أيضاً جدولاً يحدد القبلة، أو الاتجاه المحلي لمكة، تبعاً لخط العرض ولخط الطول الأرضيين (انظر القسم الأول: القبلة). ويبدو أنه استخدم جداوله الإضافية الشاملة من أجل وضع جدول القبلة هذا.

وقد عرف بعض نشاطات المدرسة الدمشقية في تونس إبان القرنين الرابع عشر والخامس عشر للميلاد، إذ تم جمع جداول إضافية وجداول للصلاة واسعة للغاية وذلك لخط عرض تونس على يد فلكيين، بقيت أسماؤهم مجهولة بالنسبة إلينا. كما وضعت كذلك جداول للصلاة لمختلف خطوط العرض من المغرب.

قياس الوقت في تركيا العثمانية

كان تأثير مدرستي القاهرة ودمشق على التطورات الخاصة بـ «علم الميقات» في تركيا العثمانية أكثر دلالة. فقد سبق أن وضع الفلكيون الدمشقيون مجموعة جداول صلاة لخط عرض اسطنبول. إلا أن الفلكيين العثمانيين وضعوا العديد من مجموعات الجداول الجديدة الخاصة بهذه المدينة وبأماكن أخرى من تركيا، على غرار مدونات القاهرة ودمشق، إذ توجد جداول صلاة لهذه المدينة في الزيج الرائج للغاية للشيخ ڤيفا (Vefâ)، وهو صوفي من القرن الخامس عشر، وكذلك في الزيج الأقل رواجاً للعالم دارندلي من القرن السادس عشر (انظر الصورة رقم (٤ ـ ١٨)). ويعطي هذا الزيج الأخير أطوال النهار والليل، كذلك



الصورة رقم (٤ ـ ١٨)

مقطع من جداول الصلاة لاسطنبول، وضعها دارندلي. يتعلق الجدول المبين ببرجي الحمل والعذراء. يجب الإشارة إلى أن المداخل مكتوبة بأرقام هندية، وليس بالتدوين الأبجدي العددي (أبجد)، الذي كان أكثر استخداماً من الجداول الفلكية، حتى خلال حكم العثمانيين (القاهرة، طلعت، ميقات تركي ٢٩، الورقة ٤٤ ظ، تم نسخه بعد إذن كريم من مدير المكتبة الوطنية المصرية).

ساعات الظهيرة (المعبر عنها وفقاً للاصطلاح التركي)[٢٢]، والعصر الأول والثاني، وهبوط الليل وطلوع النهار، واللحظة التي تكون فيها الشمس في اتجاه القبلة، ولحظة صلاة في الصباح مسماة صلاة الزهوة (مرتبطة بالضحى). وقد بقيت هاتان المجموعتان من الجداول قيد الاستخدام حتى القرن التاسع عشر.

وقد وضعت مجموعات واسعة من الجداول لحساب الوقت بواسطة الشمس و/أو النجوم لاسطنبول وأدرنة، إذ وضع تقي الدين بن معروف، مدير المرصد الفلكي في اسطنبول في نهاية القرن السادس عشر، مجموعة جداول خاصة بالشمس. كما وضع صالح أفندي المتخصص في فن العمارة، في القرن الثامن عشر، مدونة ضخمة في الجداول لحساب الوقت. وقد كانت أيضاً شائعة جداً عند موقّتي اسطنبول.

هناك سمة تميز بعض هذه الجداول العثمانية عن الجداول السابقة، المصرية والسورية منها، وهي أن قيم ساعات النهار مبنية على اصطلاح يعتبر أن غروب الشمس يشير إلى الساعة الثانية عشرة. وهذا الاصطلاح المستوحى من واقع اليوم الإسلامي الذي يبدأ عند غروب الشمس (لأن التقويم قمري والأشهر تبدأ مع رؤية الهلال بعد فترة بسيطة من غروب الشمس) تعتريه بعض الشوائب، إذ يجب تصويب الساعات التي تشير إلى الوقت «التركي» بمقدار بضع دقائق كلما انقضت بضعة أيام. وقد تم وضع جداول صلاة، مبنية على هذا الاصطلاح، في كل أرجاء الامبراطورية العثمانية وخارجها. وهناك أمثلة تؤكد هذا الأمر، موجودة في مصادر مخطوطة متعلقة بأماكن بعيدة كالجزائر ويرقند وكريت وصنعاء. وقد وضع الموقتون، في العصور المملوكية والعثمانية المتأخرة، مؤلفات عديدة تتعلق بصيغ حساب الوقت، وبعمليات حساب ساعات النهار أو الليل، أو أوقات الصلاة بواسطة ربعية مقنطرات (مشتقة من الأسطرلاب) أو بواسطة ربعية الجيوب.

الجداول الحديثة لأوقات الصلاة

كانت، أو لا تزال، أوقات الصلاة إبان القرنين التاسع عشر والعشرين تجدول في أزياج سنوية وتقاويم حائطية ومفكرات جيب، كذلك يتم تسجيل هذه الأوقات كل يوم في الصحف. وخلال شهر رمضان يتم توزيع جداول خاصة لكل أيام الشهر المذكور،

---

(٢٢) حول الاصطلاح التركي، الذي بموجبه تكون الساعة الثانية عشرة عند غروب الشمس، انظر:
J. Würschmidt, «Die Zeitrechnung im Osmanischen Reich,» *Deutsche Optische Wochenschrift* (1917), pp. 88 - 100.

حول muvakkithane، أي المباني المتاخمة للمساجد العثمانية الكبرى، التي كان يستخدمها الموقتون، انظر: A. S. Ünver, «Osmanli Türkerinde İlim Tarihinde Muvakkithaneler,» *Atatürk Konferenslari*, vol. 5 (1975), pp. 217 - 257.

تسمى إمساكية، وهي تبين، بالإضافة إلى أوقات الصلاة، الفترة المسماة بالسحور للوجبة الصباحية، واللحظة الواقعة قبل الفجر بقليل والمسماة بالإمساك حيث يبدأ الصوم. إن المؤسسات التي تضع الجداول الحديثة هي مصلحة المساحة المحلية أو المرصد أو بعض الهيئات التي تلقى موافقة السلطات الدينية. وتقدم الجداول عادة أوقات الصلوات الخمس وشروق الشمس. وقد ظهرت مؤخراً ساعات حائط وساعات يدوية معدة للبيع، مبرمجة إلكترونياً لكي تدق في أوقات الصلاة المحددة لأماكن مختلفة، ولكي تسمع تسجيلاً صوتياً للدعوة إلى الصلاة.

ـ ٥ ـ
تأثير علم الفلك العربي في الغرب في القرون الوسطى

هنري هوغونار ـ روش(*)

يعدد كبلر (Képler) في بداية مؤلفه *Epitome astronomiae Copernicanae* أجزاء علم الفلك المختلفة، الضرورية، حسب رأيه، لتكوين علم الظواهر السماوية، على الشكل التالي[1]: تتضمن مهمة العالم الفلكي خمسة أجزاء رئيسة، هي: الدراسة التاريخية للأرصاد، تحليل آفاق الفرضيات، فيزياء أسباب الفرضيات، علم حساب الجداول، وعلم ميكانيك الآلات. ويضيف كبلر أن الأجزاء الثلاثة الأولى هي أكثر ارتباطاً بالنظرية، أما الجزءان الأخيران فارتباطهما أوثق بالتطبيق.

وفي كل جزء من الأجزاء التي ميزها كبلر، كان إسهام علم الفلك العربي أساسياً في ولادة علم الفلك اللاتيني في القرون الوسطى، ومن ثم في تطوره. فقبل هذا الإسهام لم يكن هناك في الواقع علم فلك يتمتع بمستوى عالٍ في اللغة اللاتينية[2]. وما كان يقصد بعلم الفلك لم يكن إلا مجموعة أفكار في وصف الكون، تفتقر إلى الدقة، وتدور حول

(*) مدير أبحاث في المعهد التطبيقي للدراسات العليا ـ باريس.

قام بترجمة هذا الفصل نزيه عبد القادر المرعبي.

(١) انظر: Képler, *Gesammelte Werke,* Bd. VII, edited by M. Caspar (Munich: [n. pb.], 1953), p. 23.

(٢) حول علم الفلك في القرون الوسطى قبل وصول العلم العربي إلى الغرب، نجد عرضاً تركيبياً في: Olaf Pedersen, «The Corpus Astronomicum and the Traditions of Mediaeval Latin Astronomy,» paper presented at: *Colloquia Copernicana,* Studia Copernicana; 13 (Wroclaw: Ossolineum, 1975), pp. 57 - 96.

شكل وأبعاد العالم، إضافة إلى بعض المفاهيم المختصرة للغاية حول الحركات السماوية، ويشكل أساسي حول الظواهر الاقترانية كالبزوغ الشروقي[٣] والأفول الغروبي[٤]. وقد أدت احتياجات الكنيسة المتعلقة بسير التقويم إلى ظهور تقليد كامل من حسابات التسلسل الزمني للأحداث، وذلك على إثر المؤلف *De temporum ratione*، الذي وضعه بيد (Bède) (المتوفى عام ٧٣٥م). إلا أن هذه المصنفات في حساب الأعياد، والتي ارتبطت بها أسماء رابان مور (Raban Maur) أو ديكويل (Dicuil) أو غارلاند (Garlande)، لم تكن مبنية في أي شكل على معالجة رياضية للظواهر. ويكفي إعطاء مثال واحد للتدليل على هذا الأمر: فقد صور بيد (Bède) حركات الكواكب بواسطة دوائر مختلفة المركز بسيطة، لذلك بقيت الخاصة الكوكبية الثانية من دون شرح. وباختصار، فقد افتقر علم السماء العائد إلى بداية القرون الوسطى، وفي آن واحد، إلى الأرصاد والتحليل الهندسي للمظاهر وإلى التأمل حول أسس الفرضيات، أي إلى الأجزاء الثلاثة التي ترتبط، وفقاً لكبلر بالنظرية الفلكية. ولم يكن علم الفلك التطبيقي بحال أفضل، فالجداول غائبة والآلات (المزاول والساعات الشمسية) مختصرة للغاية.

لا يمكن، بالطبع، أن نأتي في مقالنا هذا على سرد تفصيلي، أو حتى على مجرد تعداد لجميع التحولات الحاصلة في الغرب اللاتيني بفعل الترجمات المتلاحقة لأعمال عربية، كما أننا لن نأتي على ذكر جميع هذه الترجمات أو كتاب القرون الوسطى الذين استطاعوا أن يستلهموها[٥]. وسنترك جانباً مواضيع أخرى، منها التأثير العربي على تطور حساب المثلثات في الغرب، وعلى الآلات، وعلى الفهارس اللاتينية للنجوم[٦]، كما أننا لن نتناول بالبحث التأثير الكبير الذي مارسته مؤلفات مثل *Introductorium maius* أو *De magnis*

---

(٣) أي بزوغ نجم متزامن مع شروق الشمس.

(٤) أي أفول نجم متزامن مع غروب الشمس.

(٥) إن العرض الأكثر حداثة حول انتقال العلم العربي إلى العالم اللاتيني، مع فهرسة غزيرة، هو عرض: Juan Vernet, *Ce que la culture doit aux arabes d'Espagne*, traduit de l'espagnol par Gabriel Martinez Gros, la bibliothèque arabe, collection l'histoire décolonisée (Paris: Sindbad, 1985), traduction allemande: *Die Spanisch - arabische Kultur in Orient und Okzident* (Zürich/Munich: [n. pb.], 1984).

وبالرغم من قدمه يبقى مرجع هاسكنز مفيداً: Charles Homer Haskins, *Studies in the History of Mediaeval Science*, 2nd ed. (Cambridge: Harvard University Press, 1927), reprinted (New York: Ungar Pub. Co., 1960).

انظر أيضاً: Francis James Carmody, *arabic Astronomical and Astrological Sciences in Latin Translation: A Critical Bibliography* (Berkeley, Calif.: University of California Press, 1956).

(٦) حول هذه النقطة الأخيرة، انظر: Paul Kunitzsch: *Arabische Sternnamen in Europa* (Wiesbaden: Otto Harrassowitz, 1959), and *Typen von Sternverzeichnissen in Astronomischen Handschriften des Zehnten bis Vierzehnten Jahrhunderts* (Wiesbaden: Otto Harrassowitz, 1966).

coniunctionibus العائدة لأبي معشر (نهاية القرن التاسع للميلاد) على التنجيم اللاتيني[٧]. وسنركز كلامنا، بالمقابل، على مسائل النظرية الفلكية بالذات، بهدف إيضاح بعض الجوانب الأساسية للتأثير العربي على التكوين التدريجي لهذه النظرية في الغرب في القرون الوسطى.

الأسطرلاب وعلم فلك الحركة الأولى[٨]

ترتبط الدلائل الأولى على دخول علم الفلك العربي إلى الغرب اللاتيني بالأسطرلاب المبني على أساس الإسقاط التصويري المجسم. وقد سبق أن حدد بطلميوس خصائص وميزات هذا الإسقاط في مؤلفه **تسطيح الكرة** *(Planisphère)*، لكن العالم اللاتيني لم يعرف هذا النص إلا في القرن الثاني عشر، وذلك من خلال ترجمة هرمان الدلماثي (Hermann le Dalmathe) في العام ١١٤٣م لنص عربي دققه مسلمة المجريطي حوالى العام ١٠٠٠م. وبالمقابل، تعرفت الأوساط العلمية في شمال شبه الجزيرة الإيبيرية إلى الأسطرلاب وإلى المؤلفات المتعلقة به منذ نهاية القرن العاشر، من خلال احتكاكها مع الإسلام. فقد ظهرت في ذلك العصر أولى المصنفات التقنية باللاتينية، وهي تتضمن أسماء جربير (Gerbert) (الذي أصبح فيما بعد بابا روما سلفستروس الثاني) وللويت البرشلوني (Llobet de Barcelone) وهرمان لو بواتو (Hermann le Boiteux). والمصنفات هذه هي عبارة عن مؤلفات عن استخدام هذه الآلة، ومؤلفات عن صناعتها، ومؤلفات عن صناعتها واستخدامها. وقد تشكلت هذه المؤلفات من مقاطع أو من تدقيقات لأعمال عربية سابقة لم تحدد هويتها حتى الآن بشكل جيد[٩]. ثم ظهرت سلسلة جديدة من الترجمات في القرن

---

(٧) انظر: Richard Joseph Lemay, *Abu Ma'shar and Latin Aristotelianism in the Twelfth Century: The Recovery of Aristotle's Natural Philosophy through Arabic Astrology,* American University of Beirut, Publication of the Faculty of Arts and Sciences, Oriental Series; no. 38 (Beirut: American University of Beirut, 1962).

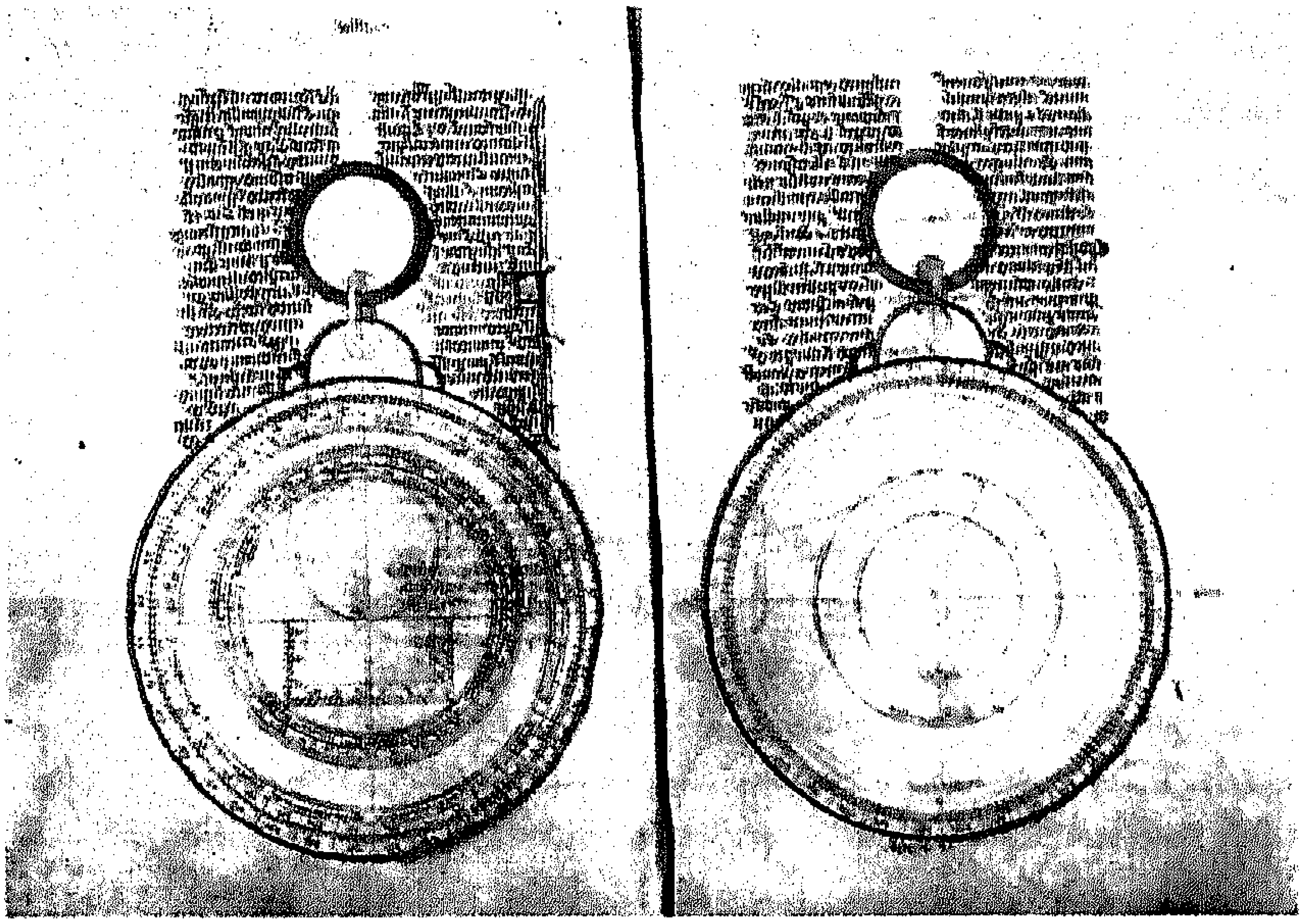
إن عقيدة *De magnis coniunctionibus* (ترجمة يوحنا الإشبيلي كتاب القرانة) التي تعرض آثار تجمعات الكواكب على صعود وسقوط الأسر الحاكمة والممالك الأرضية، مارست تأثيراً في القرون الوسطى، ونجد أثراً لها في: Georg Joachim Rhäticus, *Narratio prima,* édition critique, traduction française, commentaire par H. Hugonnard - Roche et J. P. Verdet, avec la collaboration de M. P. Lerner et A. Segonds, Studia Copernicana; 20 (Wroclaw: Ossolineum, 1982), pp. 47 - 48 et 98 - 99.

(٨) أو حركة الكل.

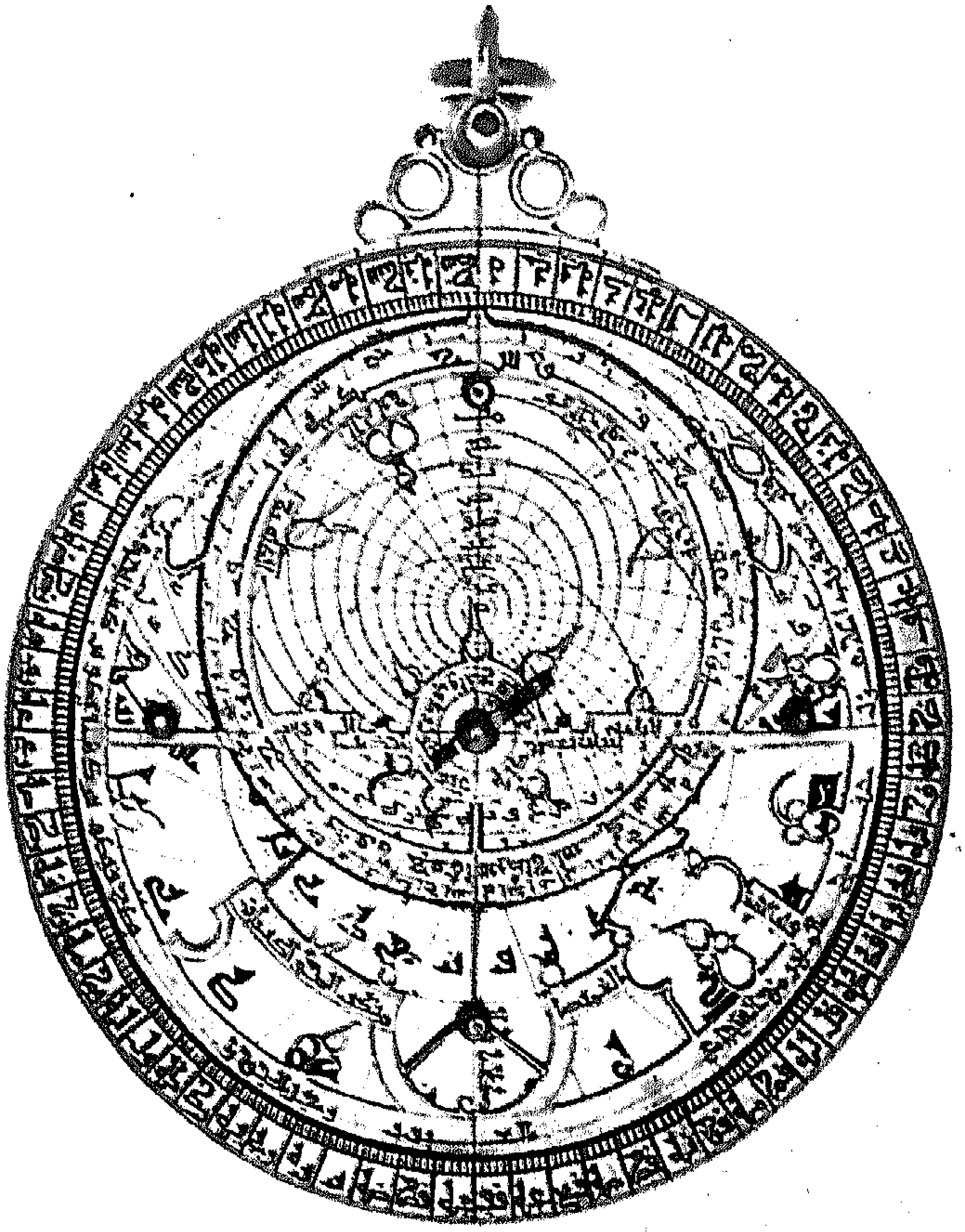
(٩) توجد دراسة كلاسيكية عن هذا الموضوع، في: José María Millás Vallicrosa, *Assaig d'història. de les idees físiquesi matemàtiques a la Catalunya medieval,* [Barcelona], Estudis universitaris catalans, série monogràfica; I (Barcelona: Institució Patxot, 1931-).

انظر أيضاً العرض التركيبي في: José Maria Millás Vallicrosa, *Nuevos estudios sobre historia de la ciencia española* (Barcelona: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1960), pp. 79 - 115.

الثاني عشر، نذكر منها ترجمة أفلاطون التيڤولي (Platon de Tivoli) (حوالى ١١٣٤ ـ ١١٤٥) لمؤلف ابن الصفار (المتوفى العام ٤٢٦هـ/ ١٠٣٥م)، كما ظهرت أعمال لاتينية أصيلة مختلفة، نذكر منها تلك الأعمال العائدة لأدلار دو باث (Adélard de Bath) (حوالى ١١٤٢ ـ ١١٤٦م) أو روبير دو شستر (Robert de Chester) (١١٤٧م) أو ريمون المارسيلي (Raymond de Marseille) (قبل سنة ١١٤١م). وقد سمحت هذه الترجمات والأعمال الأصيلة للغرب اللاتيني بالإلمام النهائي بهذه الآلة. بالإضافة إلى ذلك، فقد عزز إدراج الأسطرلاب في برامج التدريس الجامعي الدور التعليمي لهذه الآلة حتى نهاية القرون الوسطى، كما ضمن انتشار ونجاح الترجمة اللاتينية التي وضعها يوحنا الإشبيلي (Jean de Séville) (حوالى ١١٣٥ ـ ١١٥٣م) لمؤلف منسوب إلى ما شاء الله (نهاية القرن الثامن للميلاد).



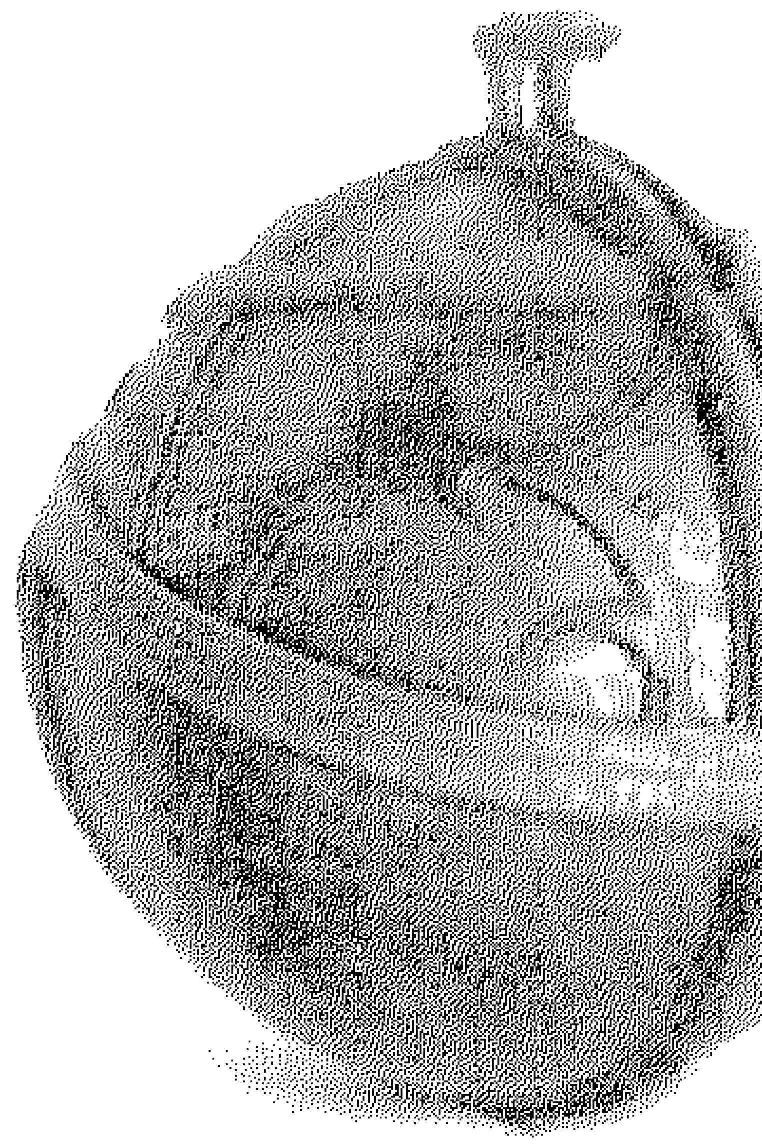
الصورة رقم (٥ ـ ١)
ما شاء الله، ترجمة ما شاء الله، ترجمة يوحنا الإشبيلي
(أوكسفورد، مخطوطة مكتبة بودلين، Ashmole ١٥٢٢).
كان لهذه الترجمة اللاتينية لكتاب ما شاء الله تحت اسم De Compositione جل الأثر في تطور الآلات العلمية في الغرب اللاتيني، وكما قلنا فقد فُقد أصله في العربية.



الصورة رقم (٥ ـ ٢)

أسطرلاب أندلسي (أوكسفورد، مخطوطة متحف تاريخ العلوم، ١٤).

صنع هذا الاسطرلاب سنة ١٠٨١/٤٧٤ بالأندلس، وضعه محمد بن سعيد الصبّان ويشير العنكبوت الى موقع ٢٥ نجماً، وبه ١٢ صفيحة حفرت لخطوط الطول التي تقع عليها المدن العربية. وحفر على «الأم» نفسها جدول تنجيمي دائري. ونقرأ على ظهر هذا الاسطرلاب منازل القمر وتقويماً أبدياً وسلماً من درجات لقياس الارتفاعات.



الصورة رقم (٥ ـ ٣)

أسطرلاب كروي (أوكسفورد، مخطوطة متحف تاريخ العلوم، ٢٥ ـ ٦٢).
صنع هذا الأسطرلاب الكروي أحد الصناع المسمى «موسى» سنة ٨٨٥/ ١٤٨٠، وهو الأسطرلاب الكروي الوحيد الذي وجد كاملاً حسبما هو معروف الآن. ولقد وصف العلماء العرب عدة آلات مشابهة ابتداءً من القرن الثالث الهجري/ التاسع الميلادي. واستعمال هذا الأسطرلاب شبيه باستعمال الأسطرلاب الكروي المسطح. وهذه الآلة هي من نحاس مطعم بالفضة، والعنكبوت الذي يتحرك على الدائرة يشير إلى مكان النجوم الثابتة، ويبلغ قطره ٨٣ مليمتراً.

كان الأسطرلاب آلة تعليمية بامتياز في القرون الوسطى، لكنه كان أيضاً آلة حسابية، إذ إنه يسمح بحل هندسي سريع للمسائل الرئيسة في علم الفلك الكروي. وهو يقدم عرضاً سهلاً لحركتي الشمس اليومية والسنوية ولتزاوج فعلي هاتين الحركتين، الذي ترتبط به المطالع المستقيمة والمائلة، وفترة الساعات غير المتساوية، والبزوغ الشروقي للنجوم، أو تحديد المنازل السماوية في التنجيم. وإذا استرجعنا التقسيم التقليدي لعلم الفلك في القرون الوسطى إلى مجالين مختلفين، هما علم فلك الحركة اليومية للقبة السماوية أو علم فلك الحركة الأولى من جهة، وعلم فلك الكواكب من جهة أخرى، فإن المؤلفات عن الأسطرلاب لا ترتبط بالطبع إلا بالمجال الأول. لذلك، فهي تتضمن القليل من المعطيات التقنية، حيث نجد، بالإضافة إلى مواقع بعض النجوم ميل فلك البروج، وتحديد موضع أوج الشمس في منطقة البروج، وموقع بداية برج الحمل (الاعتدال الربيعي) في التقويم، والموقع هذا مرتبط بحركة المبادرة. وفي أقدم مؤلف لاتيني عن الأسطرلاب، لا يمثل اقتباساً بحتاً عن العربية،

ونعني به مؤلف ريمون المارسيلي[١٠]، نجد جدولي نجوم، أحدهما مأخوذ من مؤلفات قديمة تعود إلى للوبت البرشلوني وهرمان لو بواتو، والآخر مستعار من الزرقالي (المتوفى في العام ١١٠٠م). وقد أظهر ريمون حماسة كبيرة نحو هذا المؤلف الأخير، ومنه استعار أيضاً موقع أوج الشمس على 50° ; 17 من برج الجوزاء، وقيمة ميل فلك البروج المقدرة بـ ; 23 33, 30°، التي فضلها على القيمة التي أعطاها بطلميوس وهي 50° ; 23. يسمح لنا هذا المثال بملاحظة سمتين بارزتين من سمات التأثير العربي على علم الفلك اللاتيني، تتمثلان بالدور الأساسي الذي تلعبه أعمال الزرقالي، وبوضع القيم والوسائط البطلمية في نظرية الشمس موضع النقاش والنقد.

جداول طليطلة وعلم فلك الكواكب

في العصر الذي اكتسب فيه المؤلف عن الأسطرلاب شكله النهائي، أي في منتصف القرن الثاني عشر للميلاد، لم تعد دراسة هذه الآلة تشكل المدخل الوحيد للاتينيين إلى علم الفلك التقني، بل إن الأمر أضحى أبعد من ذلك بكثير. فقد تمت، إبان ذلك القرن، ترجمة مجموعة ضخمة من النصوص العربية التي قدمت للفلكيين اللاتينيين حقل دراسات أكثر اتساعاً إلى حد كبير، ونعني بذلك الجداول الفلكية. وتحت هذه التسمية تندرج أنواع كثيرة من المواد التي يمكن تقسيمها تخطيطياً إلى ثلاث مجموعات: تضم المجموعة الأولى العناصر التي تتعلق، مباشرة إلى حد ما، بعلم فلك الحركة الأولى (جداول المطالع المستقيمة والمائلة، وجداول الميل، وجداول معادلة الزمن)؛ وتضم المجموعة الثانية جداول الكواكب وهي مؤلفة من أربعة أجزاء: جداول التسلسل الزمني للأحداث، وجداول الإحداثيات المتوسطة، وجداول المعادلات، وجداول خطوط العرض؛ وأخيراً، تضم المجموعة الثالثة جداول متباينة لها علاقة باقتران الشمس والقمر وبالخسوف والكسوف، وترتبط كذلك باختلافات المنظر وبرؤية القمر وسائر الكواكب الأخرى...

وقد أفادت ثلاثة مصادر رئيسة، من مجموع هذه المواضيع، في تلقين المعرفة للفلكيين اللاتينيين. وهذه المصادر هي: أولاً قوانين وجداول الخوارزمي (حوالى ٨٢٠م)، وقد ترجم أدلار دو باث (حوالى ١١٢٦م) نصها الذي دققه مسلمة المجريطي. ثم ثانياً جداول البتاني (المتوفى في العام ٣١٧ هـ/ ٩٢٩م)، وقد فقدت ترجمتها الأولى التي وضعها روبير دو

---

(١٠) نشر هذا المؤلف: Emmanuel Poulle, «Le Traité d'astrolabe de Raymond de Marseille,» *Studi medievali*, vol. 5 (1964), pp. 866 - 904,

(مع لائحة بالنشرات الموجودة لأعمال لاتينية عن الأسطرلاب، ص ٨٧٠ ـ ٨٧٢). انظر أيضاً: Emmanuel Poulle, «Raymond of Marseilles,» in: *Dictionary of Scientific Biography*, 18 vols. (New York: Scribner, 1970 - 1990), vol. 11, pp. 321 - 323.

شستر، ولم يبق سوى القوانين من الترجمة الثانية العائدة إلى أفلاطون التيفولي (Platon de Tivoli)[١١]. وأخيراً هناك جداول الزرقالي التي تؤلف نواة المجموعة المعروفة باسم جداول طليطلة، ويشكل هذا الاسم إشارة إلى خط الزوال المعتمد في هذه الجداول. وقد لقيت الجداول الأخيرة هذه انتشاراً عاماً عبر الغرب اللاتيني كله من خلال الترجمة التي وضعها جيرار دو كريمون (Gérard de Crémone) (المتوفى في العام ١١٨٧م)[١٢].

كان ريمون المارسيلي أحد أوائل اللاتينيين الذين استخدموا جداول عربية المصدر. وقد وضع في العام ١١٤١م مؤلفاً عن حركات الكواكب، يتضمن جداول تسبقها قوانين ومقدمة، حيث يعلن أنه يستند إلى الزرقالي. فجداوله، في الواقع، هي تعديل لجداول الخوارزمي بما يجعلها تناسب التقويم المسيحي وتتوافق مع خط طول مرسيليا. واستخدم ريمون، كما في مؤلفه عن الأسطرلاب، القيمة 30° ,33 ; 23، لميل فلك البروج، التي استعارها من الزرقالي. وبالإضافة إلى ذلك، كان على علم بوجود الحركة الذاتية لأوج الشمس التي أوضحها الزرقالي، وقد أعاد كتابة جداول الفلكي العربي من أجل مواقع أوج الشمس وكواكب أخرى. وقد ظهر مؤلف ريمون قبل ثلاثين سنة تقريباً من صدور ترجمتي جيرار دو كريمون لكتاب بطلميوس **المجسطي**[١٣] ولـ **جداول طليطلة**. وشكل هذا المؤلف أول دخول إلى الغرب اللاتيني للطريقة البطلمية في حساب مواقع الكواكب (الشكل رقم (٥ ـ ١))، وذلك بشكل غير مباشر عن طريق استعارة من الزرقالي. وتتلخص الطريقة في القيام بمجموع جبري للحركة المتوسطة، ولمعادلة المركز، ولمعادلة الحصة، مع تصحيح المعادلة الأخيرة بواسطة أجزاء تناسبية. ومن جهة أخرى، يستخلص ريمون من دراسته لجداول الزرقالي الفكرة المعبر عنها بوضوح، والتي تقول إن الجداول الفلكية تتطلب تصحيحات مستمرة. وقد وجد الفلكيون أنفسهم في مواجهة مع هذه التصحيحات ومع المسائل النظرية التي تستتبعها على امتداد القرون الوسطى، كما أضحى من طموحات كوبرنيكوس (١٤٧٣ ـ ١٥٤٣م) أن يعد في نهاية المطاف جداول صالحة للاستخدام بشكل دائم.

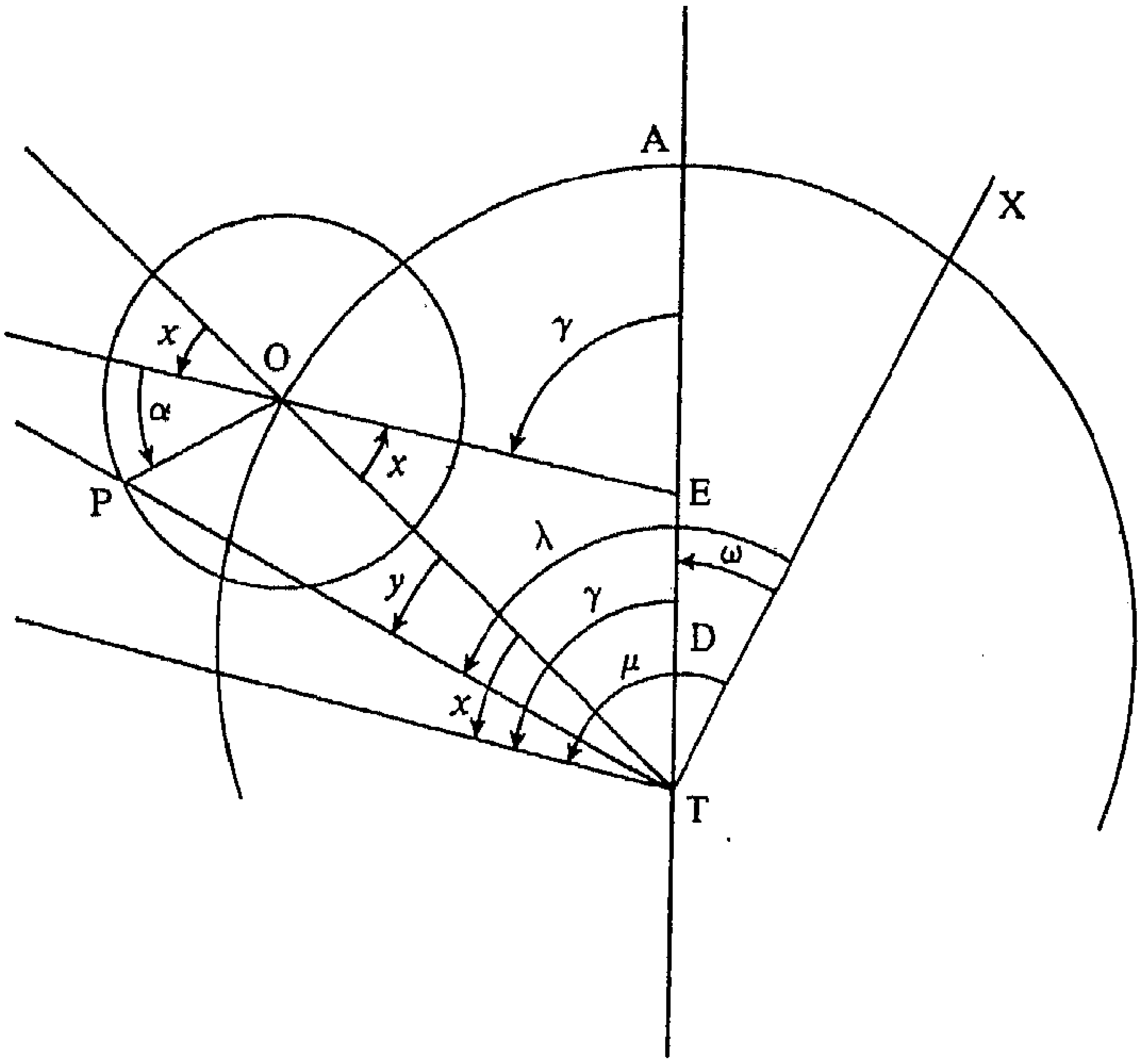
استمرت حركة اقتباس الجداول العربية، وبشكل أساسي **جداول طليطلة**، في أنحاء

---

(١١) لا توجد نشرة حديثة لترجمة أفلاطون التيفولي، التي ظهرت في نورمبرغ في العام ١٥٣٧، تحت عنوان: *De scientiis astrorum*.

(١٢) لا توجد كذلك نشرة حديثة لجداول طليطلة، لكن سنراجع التحليل المفصل لـ:
G. J. Toomer, «A Survey of the Toledan Tables,» *Osiris*, vol. 15 (1968), pp. 5 - 174.

(١٣) توجد لائحة مع شرح للترجمات اللاتينية المنسوبة إلى جيرار دو كريمون، في:
R. Lemay, «Gerard of Cremona,» in: *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 15, pp. 173 - 192.
من أجل الترجمة العربية ـ اللاتينية لكتاب **المجسطي**، انظر: Paul Kunitzsch, *Der Almagest: Die Syntaxis Mathematica des Claudius Ptolemäus in Arabisch - lateinischer Überlieferung* (Wiesbaden: Otto Harrassowitz, 1974).



الشكل رقم (٥ ـ ١)

النظرية البطلمية عن حركة الكواكب بخط الطول (حالة عامة: الكواكب العلوية والزهرة)

مصطلحات القرون الوسطى: T، مركز الأرض أو العالم؛ D، مركز دائرة بطلميوس؛ E، مركز اعتدال المسير؛ O، مركز فلك التدوير؛ P، الكوكب؛ X، أصل الإحداثيات على فلك البروج (بداية برج الجدي)؛ A، الأوج على فلك البروج؛ ω، خط طول الأوج؛ μ، الحركة المتوسطة؛ γ، مركز متوسط؛ α حصة متوسطة؛ x، معادلة المركز؛ y، معادلة الحصة λ، مكان حقيقي.

مختلفة من العالم المسيحي طيلة القرنين الثاني عشر والثالث عشر للميلاد[١٤]. وهكذا نستطيع أن نذكر جداول لخط زوال پيزا وضعها أبراهام بن عزرا (Abraham Ibn Ezra) حوالى العام ١١٤٥م، وجداول لخط زوال لندن تعود لروبير دو شستر في العامين ١١٤٩ ـ ١١٥٠م، وجداول لمدينة لندن أيضاً وضعها هيرفورد (Hereford) في العام ١١٧٨م، وأخرى مغفلة معدة لمدن لندن (١٢٣٢م) ومالين (Malines) ونوڤار (Novare) وكريمون (Crémone)...

(١٤) انظر بشكل خاص المعلومات التي جمعت في: José María Millás Vallicrosa, *Estudios sobre Azarquiel* (Madrid: Consejo Superior de Investegaciones Cientiificas, Instituto «Miguel Asiín», Escuelas de Estudios Arabes de Madrid y Granada, 1943 - 1950), pp. 365 - 394.

ومن بين جميع هذه الجداول التي ورد ذكرها، يبدو أن جداول تولوز قد لقيت استخداماً واهتماماً خاصاً، ولا سيما من قبل الفلكيين الباريسيين، نظراً لقرب خطي زوال باريس وتولوز أحدهما من الآخر. إن العدد الكبير من المخطوطات لجداول طليطلة، التي تعود إلى القرن الرابع عشر وحتى إلى القرن الخامس عشر، يشهد بالإضافة إلى ذلك على الاستمرار في استخدامها حتى بعد أن أصبحت الجداول الألفونسية مفضلة عند الفلكيين الذين أجروا إصلاحات على علم الفلك في باريس، في بداية القرن الرابع عشر. وبالإضافة إلى تأثيرها على الجداول اللاتينية، أثرت جداول طليطلة على الأزياج التي لم تكن معدة لتقديم الوسائل لحساب مواقع الكواكب، بل لتحديد هذه المواقع نفسها. وعلى سبيل المثال، كان هذا هو حال الزيج المعد لمدينة مونبلييه لسنة ١٣٠٠م وما يليها من السنين، وقد وضعه پروفاتيوس (Profatius) (ت حوالى ١٣٠٧م) الذي قال إنه هو نفسه قد أخذ أصول زيجه من جداول طليطلة[١٥].

وجداول طليطلة هذه هي مجموعة متعددة العناصر، فهي تتضمن، إلى جانب أجزاء ترجع إلى جداول الزرقالي نفسها، أجزاءً أخرى مأخوذة من الخوارزمي (لخطوط عرض الكواكب بشكل خاص)، وأخرى من البتاني (بخاصة من أجل جداول معادلات الكواكب)، بالإضافة إلى غيرها من الأقسام التي تعود إلى **المجسطي** أو إلى **الجداول الميسرة** لبطلميوس وكذلك إلى *De motu octavae spherae* المنسوب في القرون الوسطى إلى ثابت ابن قرة[١٦]. يؤدي هذا التنوع في التركيب إلى نتيجة مفادها أن جداول طليطلة تفتقر إلى

---

(١٥) إن مواقع الكواكب التي تم حسابها انطلاقاً من جداول طليطلة تتوافق بشكل جيد، في الواقع، مع قيم پروفاتيوس (Profatius)، كما بين ذلك في: G. J. Toomer, «Prophatius Judaeus and the Toledan Tables,» *Isis,* vol. 64, no. 223 (September 1973), pp. 351 - 355.

(١٦) لم يتم إيجاد النص العربي لهذا المؤلف. وقد نشرت النسخة اللاتينية التي وضعها جيرار دو كريمون في: Millás Vallicrosa, Ibid., pp. 487 - 509, réimprimé dans: Millás Vallicrosa, *Nuevos estudios sobre historia de la ciencia española,* pp. 191 - 209, et dans: Francis James Carmody, *The Astronomical Works of Thābit b. Qurra* (Berkeley, Calif.: University of California Press, 1960).

إن نسبة هذا المؤلف غير المؤكدة إلى ثابت هي في الوقت الحاضر موضوع نقاش: يرفض ميلياس ڤاليكروزا (Millás Vallicrosa) نسبته إلى الزرقالي، التي أيدها: Pierre Maurice Marie Duhem, *Le Système du monde: Histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic,* 10 vols. (Paris: A. Hermann, 1914 - 1959), vol. 2, pp. 246 et ss.

لكن الأصل الاسباني قد دافع عنه من جديد: Faiz Jamil Ragep, «Cosmography in the Tadhkira of Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī,» (Unpublished Doctoral Dissertation, Harvard University, Department of History of Sciences, 1982), pp. 219 - 229.

هناك ترجمة مع شرح موجودة في: Otto Neugebauer, «Thābit ben Qurra *«On the Solar Year»* and *«On the Motion of the Eighth Sphere»,» Proceedings of the American Philosophical Society,* vol. 106, no. 3 (June 1962), pp. 264 - 299.

مخطط فلكي تحتي متماسك، كما أن الحسابات فيها مبنية على قيم للوسائط مختلفة ومتنافرة. فعلى سبيل المثال، تم حساب جدول اختلافات المطلع باعتماد قيمة لميل فلك البروج تساوي 51° ; 23، وهي موجودة في **الجداول الميسرة**، في حين تم حساب جدول المطلع المستقيم باعتماد القيمة 35° ; 23 التي استخدمها البتاني. هناك مثال آخر، حيث تم حساب الأعمدة التي تؤلف جدول معادلة الزهرة انطلاقاً من قيمتين مختلفتين للاختلاف المركزي لهذا الكوكب. إن غياب أي تحليل هندسي لحركات الكواكب في القوانين المقتصرة على سردٍ لطرق إجراء الحسابات، جعل، وبشكل مؤكد، نقد جداول طليطلة أكثر صعوبة بالنسبة إلى اللاتينيين الأوائل الذين استخدموها. لذلك فقد أقر هؤلاء ضمناً بالقيم الجديدة للوسائط المستخدمة فيها.

إن السمات المميزة للجداول اللاتينية من القرنين الثاني عشر والثالث عشر للميلاد هي إذاً نفسها سمات جداول طليطلة، وهي في الأساسي منها انعكاس للتعديلات التي أدخلها الفلكيون العرب في القرن التاسع للميلاد على النظرية البطلمية. وتتناول هذه التعديلات بالدرجة الأولى قيم الوسائط الشمسية، التي كانت نوعية تحديدها عند بطلميوس رديئة جداً. وقد أدت الأرصاد التي أجريت في الشرق في القرن التاسع للميلاد، أي بعد بطلميوس بحوالى سبعة قرون، إلى تقديرات مختلفة عن تقديرات هذا الأخير(١٧)، بالنسبة إلى طول السنة المدارية وسرعة حركة المبادرة وميل فلك البروج (33° ; 23 وفقاً لفلكيي المأمون، و35° ; 23 وفقاً للبتاني عوضاً عن القيمة 20° ,51 ; 2 التي وردت في **المجسطي**)، والاختلاف المركزي للشمس (45 ,4 ; 2 جزءاً وفقاً للبتاني، 30 ,29 ; 2 جزءاً وفقاً لبطلميوس) وموقع أوج الشمس (على 30° ; 65 من بداية برج الحمل وفقاً لبطلميوس، على 17° ; 82 وفقاً للبتاني، على 45° ; 82 وفقاً لـ *De anno solis* المنسوب إلى ثابت بن قرة(١٨)). إن اكتشاف الفلكيين العرب للاختلافات بين القيم التي حصل عليها بطلميوس وقيمهم الخاصة وضعهم أمام مسألة دقيقة بقي صداها يتردد باستمرار، وصولاً إلى كوبرنيكوس نفسه. تتلخص المسألة على الشكل التالي: هل يمكن تفسير هذه الاختلافات بأخطاء في الأرصاد، أم بتغيرات على أمد طويل في قيم الوسائط، التي تعبر في هذه الحالة عن وجود حركات لم يتم رصدها حتى ذلك الحين؟ اجتمع التفسيران منذ القرن التاسع للميلاد. الأول قدمه البتاني، الذي لم يشكك بالنماذج الحركية البطلمية، والذي اكتفى

---

(١٧) نستعير معظم القيم التي تلي من: Willy Hartner, «Al- Battānī,» in: *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 1, pp. 507 - 516.

(١٨) درس كارمودي النسخة اللاتينية، ونسب أبوتها إلى جيرار دو كريمون. انظر: Carmody, *The Astronomical Works of Thābit b. Qurra.*

وقد رأى ريجيس مورلون (Régis Morelon) أن هذه النسبة مشكوك فيها، وهو علاوة على ذلك يعتبر أن الأصل العربي قد كتب في محيط بني موسى ولا يعود الى ثابت: انظر: Thābit Ibn Qurra, *Œuvres d'astronomie*, texte établi et traduit par Régis Morelon (Paris: Les Belles lettres, 1987), pp. xlvi - lii.

باعتماد حركة مبادرة أكثر سرعة من حركة بطلميوس (درجة واحدة في ٦٦ سنة عوضاً عن درجة في ١٠٠ سنة). أما التفسير الآخر فقد قدمه مؤلف كتاب *De motu octavae spherae*، الذي افترض، بالإضافة إلى ذلك، أن التغيرات المحتملة في قيم الوسائط الشمسية هي دورية. وبهدف تحليل هذا الأمر، فقد تصور نموذجاً(١٩) يقدم في آن واحد تغيراً دورياً في المبادرة وبالتالي في طول السنة المدارية، وتغيراً دورياً في ميل فلك البروج. باختصار، يتضمن هذا النموذج فلكين للبروج: أحدهما ثابت ومائل بقيمة 33° ; 23 على خط الاستواء الذي يقطعه فلك البروج هذا في نقطتين تسميان بداية برج الجدي وبداية برج الميزان. تعتبر هاتان النقطتان كمركزين لدائرتين صغيرتين، ترسمهما بداية برج الجدي وبداية برج الميزان، وينتمي هذان البرجان إلى فلك بروج آخر متحرك (لكنه ثابت بالنسبة إلى النجوم)، ويقطع هذا الفلك بدوره خط الاستواء في النقطتين الاعتداليتين. وعندما تكمل بداية برج الجدي المتحرك، التي هي أصل الإحداثيات النجمية، دورة كاملة على دائرتها الصغيرة، فإن النقطة الربيعية تنساق في حركة تذبذبية على خط الاستواء. وقد تم اختيار قيم الوسائط في هذا النموذج بشكل يحدث أثراً أقصى هو 45° ; 10 ± درجة (أي المسافة بين بداية برج الحمل المتحرك والنقطة الربيعية)، وكانت قيمة دورة الحركة التذبذبية تعادل ٤١٦٣,٣ سنة عربية (أي ما يعادل ٤٠٣٩,٢ سنة مسيحية). وقد كانت جداول *De motu*، الموافقة لهذا النموذج الهندسي، مدرجة دون تغيير في جداول طليطلة، التي ضمنت حتى نهاية القرن الثالث عشر نجاحاً لا جدال فيه لهذه النظرية عن حركة تذبذبية للاعتدالين، سميت في لغة القرون الوسطى بالكلمتين «accessio» و«recessio» اللتين تشكلان ترجمة للمصطلحين العربيين «إقبال» و«إدبار»(٢٠).

أما فيما يتعلق بالكواكب، فإن حساب حركاتها في جداول طليطلة ينتج عن الأخذ بعين الاعتبار بثلاث كميات، هي الحركة المتوسطة وتصحيحان يسميان معادلة المركز ومعادلة الحصة. إن هذين التصحيحين ليسا سوى تعبير، في العملية الحسابية، عن عدم انتظام ناجم عن وجود اختلافات مركزية وعن وجود أفلاك تدوير في الإنشاءات الهندسية البطلمية. يتعلق عدم الانتظام، إذاً، بالنسبة إلى كل كوكب، باختلافه المركزي وبنسبة شعاع فلك التدوير إلى شعاع دائرة بطلميوس(٢١). ومن الملاحظ أن الإحداثيات المتوسطة المدونة في جداول طليطلة (الحركة المتوسطة للكواكب العلوية، والحصة المتوسطة للكواكب

---

(١٩) حول هذا النموذج، وحول نظريات المبادرة بشكل عام في القرون الوسطى، انظر:
R. Mercier, «Studies in the Medieval Conception of Precession,» *Archives internationales d'histoire des sciences:* vol. 26 (1976), pp. 197 - 220, et vol. 27 (1977), pp. 33 - 71.

(٢٠) نجد على سبيل المثال تحليل عدد من النصوص المرتبطة بهذه الترجمة في:
John David North, *Richard of Wallingford: An Edition of His Writings,* 3 vols. (Oxford: Clarendon Press, 1976), vol. 3, pp. 238 - 270.

(٢١) سماها العرب القدامى «الحامل» أو «الفلك الحامل».

السفلية) وإن بدت مستقلة عن الجداول السابقة المعروفة، إلا أن جداول المعادلات في الأساسي منها، هي جداول البتاني نفسها، وهي مشتقة عن **الجداول الميسرة** لبطلميوس. غير أن جدول معادلة مركز الزهرة يشكل الاستثناء الرئيس فيما يتعلق بالمصدر البطلمي لجداول معادلات الكواكب، وهو مشابه لجدول البتاني، لكنه تختلف تماماً عن الجدول الوارد في **الجداول الميسرة**. والسبب هو أن جدول البتاني يفترض أن مركز فلك تدوير الزهرة يتطابق مع الشمس المتوسطة، لذلك يجب أن يكون الاختلاف المركزي للزهرة مساوياً للاختلاف المركزي للشمس. وهذا المفهوم، الذي شاع لدى الفلكيين العرب وفق ما ذكره البيروني (ت ١٠٤٨م)[٢٢] هو الذي استعاده هنا مؤلف جداول طليطلة.

فإذا استثنينا حالة الزهرة، نجد أن بقاء جداول المعادلات بطلمية الأصل يعني أن بنية النماذج الهندسية للكواكب، التي ترتكز عليها جداول طليطلة ومن ثم الجداول اللاتينية المشتقة عن الجداول الأولى، بقيت هي نفسها منذ بطلميوس. بالمقابل، فإن وضع هذه النماذج في نظام الإسناد، المؤلف من نظرية الشمس المقترنة بنظرية حركة النجوم الثابتة، قد يعدل كلياً بالنسبة إلى المفهوم البطلمي. فقد أظهر الفلكيون العرب في القرن التاسع للميلاد أن موقع أوج الشمس متغير (في نظام إحداثيات مدارية)، كما حددوا لحركة الأوج قيمة مشابهة لقيمة حركة المبادرة (درجة واحدة في ٦٦ سنة). بذلك يكونون قد افترضوا أن هاتين الحركتين متماثلتان، أي أن أوج الشمس ثابت، لكن ليس بالنسبة إلى الاعتدال، كما هو الأمر عند بطلميوس، بل بالنسبة إلى كرة النجوم. وقد نتج عن هذا التغيير أن كرة النجوم هي التي استخدمت منذ ذلك الحين كإسناد لحركات الكواكب. وهكذا، فإن جداول طليطلة قد حددت بإحداثيات نجمية، في حين أن الجداول البطلمية كانت مبنية بإحداثيات مدارية. لذلك نبعد تحديد المواقع الحقيقية للكواكب على كرة النجوم الثابتة، أو الكرة الثامنة وفق التعبير في القرون الوسطى، بواسطة جمع جبري للحركة المتوسطة وللمعادلات، فقط بعد هذا التحديد يتم حساب المواقع على الكرة التاسعة (أو كرة فلك البروج غير المتحرك) بإضافة معادلة حركة الإقبال والإدبار، وذلك لكي تؤخذ بعين الاعتبار حركة «ارتجاج» النجوم، ومن ثم حركة أوج الكواكب بالنسبة إلى النقطة الربيعية. وقد لقيت هذه العملية، الموروثة عن جداول طليطلة، استخداماً مستمراً في علم الفلك اللاتيني حتى نهاية القرن الثالث عشر للميلاد.

نظرية الكواكب والتحليل الهندسي للمظاهر

إذا كانت الجداول الفلكية ترضي من يمارس التطبيق بالسماح له بتحديد موقع نجم ما بخط الطول وخط العرض في أية لحظة، فإنها لا تقدم أية معلومات مباشرة في مجالين

---

(٢٢) انظر: Toomer, «A Survey of the Toledan Tables,» p. 65.

يؤلفان النظرية الفلكية، وفقاً لكبلر، ونعني بهما دراسة الفرضيات ودراسة أسبابها. وقد تشكل هذان المجالان في الغرب اللاتيني في القرن الثالث عشر للميلاد، وهنا أيضاً نرى أن التأثير العربي قد لعب دوراً كبيراً. وقد أصبح تكوّن هذا الحقل الجديد من الأبحاث ممكناً من خلال ظهور طراز جديد من النصوص الفلكية، هي «*theoricae planetarum*» التي كان هدفها عرض النماذج الحركية القادرة على تصوير الحركات السماوية بالشكل الأكثر أمانة. وقد فضل اللاتينيون وصفاً أكثر إيجازاً لنظام العالم وفقاً لبطلميوس، على البراهين الموغلة في التقنية الواردة في **المجسطي**، والنموذجان الأوليان لهذا النظام كانا عملين عربيين. أحد هذين العملين هو المدخل إلى علم الفلك البطلمي والعائد إلى الفرغاني، وقد ظهر بعنوان *Differentie scientie astrorum* في الترجمة التي وضعها يوحنا الاشبيلي في العام ١١٣٧م، وكذلك بعنوان *Liber de aggregationibus scientiae stellarum* في ترجمة جيرار دو كريمون. أما العمل الثاني فهو كتاب مماثل وضعه ثابت بن قرة (المتوفى عام ٢٨٨ هـ/ ٩٠١م)، وقد ترجمه أيضاً جيرار دو كريمون، وعرف بعنوان *De hiis que indigent antequam legatur Almagesti*[(٢٣)]. وعلى غرار هذين العملين العربيين، تقتصر مؤلفات القرون الوسطى اللاتينية المسماة «*theoricae planetarum*»، في أغلب الأحيان على عرض التصورات الفلكية الأساسية والتنظيم العام للدوائر المستخدمة في تمثيل حركات الكواكب. وينطبق هذا الأمر، بشكل خاص، على المؤلف الأوسع انتشاراً من بين جميع مؤلفات القرون الوسطى، المعروف باسم *Theorica planetarum Gerardi*[(٢٤)]، الذي نجهل هوية كاتبه، لكن تاريخه يعود على الأرجح إلى بداية القرن الثالث عشر للميلاد. إن التصاميم الهندسية التي وصفت في هذا المؤلف الأخير *Theorica* مطابقة للإنشاءات البطلمية، باستثناء تلك المتعلقة بالتحديد المغلوط لإقامات الكواكب بواسطة المماسات، والمتعلقة بنظرية خطوط عرض الكواكب. وحول هذه النقطة الثانية، هناك تقليدان معروفان في القرون الوسطى: الأول مثّله **المجسطي** وتابعه البتاني بالإضافة إلى ترجمة مغفلة لجداول طليطلة، والآخر نشأ عن الطرق الهندية وانتقل إلى الغرب بواسطة جداول الخوارزمي، ومن خلال الترجمة التي وضعها جيرار دو كريمون لجداول طليطلة. إن الطريقة الثانية مبنية على تنظيم لميول (جمع ميل) مستويات مختلف الدوائر الممثلة لحركات

---

(٢٣) نشرت هذه الترجمة في: Carmody, *The Astronomical Works of Thābit b. Qurra.*
نجد النص العربي الأصلي، مع ترجمة فرنسية وشرح لمورلون، في: Thābit Ibn Qurra, *Œuvres d'astronomie.*

(٢٤) بالإضافة إلى النشرة (انظر قائمة المراجع)، يمكن مراجعة الترجمة الإنكليزية لِـ أ. بِدِرسِن (O. Pedersen)، التي ظهرت في: Edward Grant, ed., *A Source Book in Medieval Science,* Source Books in the History of the Sciences (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1974), pp. 451 - 465.

الكواكب، مغاير للتنظيم الذي اعتمده بطلميوس، لذلك تؤدي هذه الطريقة بالطبع إلى عمليات حسابية مختلفة عن عمليات المجسطي. وقد استند مؤلف *Theorica Gerardi* إلى هذه العمليات بالذات، وساهم بشكل واسع في انتشارها حتى بداية القرن الرابع عشر، وهو العصر الذي أعادت فيه الجداول الألفونسية الأولوية إلى العمليات البطلمية.

إن المؤلف المعروف بـ *Theorica planetarum Gerardi* هو شكل مختصر لمؤلفات «*theoricae*» في القرون الوسطى، وهو لا يقدم أية إشارة إلى وسائط الإنشاءات الهندسية، ولا إلى سرعات دوران عناصرها المتحركة. بالمقابل، إن المؤلف *Theorica planetarum* هو الشكل الأكثر تطوراً لـ «theoricae» في القرون الوسطى، وقد وضعه كمپانوس دو نوڤار بين العامين ١٢٦١ و١٢٦٤م، وهو يجمع بين عرض نظري مفصل لعلم الحركة البطلمي الخاص بحركات الكواكب وبين وصف الأدوات المختصة بتمثيل هذه الحركات، ويشكل هذا الوصف أول مؤلف لاتيني عن «الصفيحة الجامعة لتقويم الكواكب» (équatoire). وبعد إدراجه في البرامج الجامعية خلال القرن الرابع عشر، وفر *Theorica* العائد لكمپانوس انتشاراً واسعاً للمواد التي أخذها عن مؤلف الفرغاني، الذي يعتبر المصدر الأهم بعد بطلميوس لـ *Theorica*. ويضيف كمپانوس، على غرار الفرغاني، إلى **ملخص المجسطي** معلومات حول نظام الكرات السماوية، فيكمل وصف كل نموذج كوكبي من خلال تقدير أبعاد كل جزء من أجزاء هذه النماذج. وبما أن كمپانوس نفسه وضع لمدينة نوڤار جداول فلكية مبنية على جداول طليطلة، فقد استعار من هذه الجداول الأخيرة عدداً لا بأس به من قيم الوسائط. وهكذا أخذت جميع وسائط أوج الكواكب من جداول طليطلة، بما في ذلك وسيط أوج الشمس التي تخضع لحركة المبادرة، كما هو الأمر عند الفلكيين العرب. يعتمد كمپانوس، كذلك، القيم الطليطلية من أجل الحركات المتوسطة للكواكب العلوية، ومن أجل الحصة المتوسطة لعطارد، لكنه يعتمد القيمة المأخوذة من جداول نوڤار الخاصة به من أجل الحصة المتوسطة للزهرة. كما يتبنى أيضاً جداول طليطلة بالنسبة إلى المسافات بين إقامةٍ وأوج. وأخيراً يعتمد، على غرار هذه الجداول، القيم البطلمية للاختلافات المركزية لأفلاك التدوير ولأطوال شعاعات الأفلاك، وذلك بالنسبة إلى مختلف الكواكب (باستثناء المريخ، حيث إن الفارق عائد إلى خطأ على الأرجح).

أما فيما يتعلق بأبعاد العالم، فإن العناصر الأساسية في هذا المؤلف مأخوذة عن بطلميوس، وهي الأبعاد المقارنة لكرات الأرض والقمر والشمس. ويكون ذلك وفق مبدأ تجاور الكرات السماوية الذي يسمح، شيئاً فشيئاً، بحساب الأبعاد النسبية لكرات الكواكب وصولاً إلى زحل، ومن بعد إلى النجوم الثابتة. وبالمقابل، فإن جميع تقديرات كمپانوس، بالقيم المطلقة، مبنية على تخمين طول درجة خط العرض الأرضي، الذي وجده عند الفرغاني (56 2/3 ميلاً)، ثم أدرجه ثانية في الحسابات البطلمية للعناصر الأساسية (قطر الأرض وقطر الشمس والمسافة بين الأرض والشمس، . . . الخ). وباستخدامه أيضاً

لعظم الأجرام السماوية نفسها، الذي أخذه عن الفرغاني، وجد كمپانوس بذلك نفسه قادراً على حساب أبعاد جميع أجزاء نظام العالم.

ومن أجل تقديم ملخص بخطوط عريضة، نستطيع القول إن ثلاثة تأثيرات مهيمنة قد تركت طابعها على صورة علم الفلك في القرون الوسطى في القرن الثالث عشر للميلاد، التي رسمها مؤلف كمپانوس *Theorica planetarum* بطريقة نموذجية. وهذه التأثيرات هي تأثير بطلميوس على النماذج الهندسية وقيم وسائطها، وتأثير جداول طليطلة على الإحداثيات المتوسطة للعناصر المتحركة العائدة لهذه النماذج، وأخيراً تأثير الفرغاني، ومن خلاله تأثير كتاب بطلميوس في **أصول حركات الكواكب المتحيرة** على البنية الكوزمولوجية للكون. وفي هذه الصورة، تبقى مسألتان رئيستان مطروحتين للبحث: **الأولى** هي مسألة حركة كرة النجوم، التي يكتفي بصددها كمپانوس بإشارات تذكر، جنباً إلى جنب، الحركة البطلمية وقيمتها درجة في كل مئة عام، وحركة الإقبال والإدبار المنسوبة إلى ثابت بن قرة دون تحديد قيمتها؛ والمسألة **الثانية** هي حقيقة النماذج الحركية البطلمية.

مسألة أساس الفرضيات

تعرّف الغرب اللاتيني، من خلال المؤلفات النظرية *theoricae*، على الفرضيات البطلمية التي بقيت متضمنة في الجداول وقوانينها. وفي ذلك العصر، اطلع الغرب كذلك من خلال ترجمات ميشال سكوت (Michel Scot) (ت حوالى ١٢٣٦م) على شروحات ابن رشد (المتوفى في العام ١١٩٨م) حيث تتعرض هذه الفرضيات إلى النقد الحاد[٢٥]. ففيزياء أرسطو تقضي في الواقع ألا تملك المادة السماوية سوى حركة الدوران المنتظم لكرات متحدة المركز. لذلك كان من السهل على ابن رشد أن يكشف، وفق متطلبات هذه الفيزياء، عن وجود تناقضات في علم الفلك الذي يتضمن أفلاكاً مختلفة المركز وأفلاك تدوير. وقد تلقى اللاتينيون في الوقت نفسه، بالإضافة إلى نقد ابن رشد الجذري، الترجمة التي وضعها ميشال سكوت في العام ١٢١٧ لمؤلف البطروجي (حوالى ١٢٠٠م) الذي ترجم إلى اللاتينية تحت عنوان *De motibus celorum*، حيث يحاول الكاتب أن يعدل علم الفلك لكي يتوافق مع فيزياء أرسطو. ويمكن فهم نماذج البطروجي، في مبدأها، كنوع

(٢٥) إن مقاطع الشروحات حول مؤلفات أرسطو، حيث ينتقد ابن رشد علم الفلك البطلمي، جمعت في مقالة: Francis J. Carmody, «The Planetary Theory of Ibn Rushd,» *Osiris*, vol. 10 (1952), pp. 556 - 586.

حول نقد العلماء العرب من إسبانيا لبطلميوس، انظر: A. I. Sabra, «The Andalusian Revolt against Ptolemaic Astronomy: Averroes and al-Biṭrūjī,» in: Everett Mendelsohn, ed., *Transformation and Tradition in the Sciences: Essays in Honor of I. Bernard Cohen* (Cambridge; New York: Cambridge University Press, 1984), pp. 133 - 153.

من التجديد للنماذج متحدة المركز العائدة لأودوكس (Eudoxe)، التي تبناها أرسطو. ويتناول هذا التجديد ميول محاور كرات الكواكب التي أصبحت متغيرة، حيث إن حركة كل كرة تنقاد بحركة قطبها الذي يرسم فلك تدوير صغيراً بالقرب من قطب خط الاستواء.

إن التعرف إلى هذه النصوص كان مصدر جدال طويل في القرون الوسطى حول أساس الفرضيات(٢٦)، إذ نجد منذ العام ١٢٣٠ م صدى مؤلف البطروجي، الذي ما زال مشوشاً، عند كاتب مثل غليوم دوفرنيي (Guillaume d'Auvergne) (١١٨٠ - ١٢٤٩م)، ثم بعد ذلك بفترة قصيرة من الزمن عند روبير غروستست (Robert Grosseteste) (١١٧٥ - ١٢٥٣م). أما ألبير الكبير (Albert le Grand) (المتوفى في العام ١٢٨٠م)، فقد أعجب بأحد أكثر الأشكال تبسيطاً لنظرية البطروجي، ونعني بهذا الشكل محاولة تفسير كل المظاهر السماوية بواسطة محرك واحد يقود جميع الكواكب في حركة سريعة إلى حد ما نحو الغرب، مما يسمح بتحليل حركاتها الذاتية الظاهرية نحو الشرق. وفي ختام مناقشته، يرفض ألبير نقد ابن رشد للأفلاك مختلفة المركز ولأفلاك التدوير، بحجة أن الأجرام السماوية تختلف عن الأجسام الأرضية من حيث المادة والشكل. كذلك، يرفض علم فلك الكرات متحدة المركز، لأن «علم الفلك هذا لم يستكمل برصد قيمة الحركات» حسبما يقول. وهكذا، يبرز ألبرتوس عدم قدرة علم الفلك هذا على التحليل الكمي للمظاهر، مما يشكل نقصاً عانت منه فرضية البطروجي باستمرار في القرون الوسطى. ويفسر هذا النقص لامبالاة الفلكيين نحوها.

ومن جهة أخرى، فإن الشكوك والانتقادات الموجهة إلى بطلميوس، التي أثارتها أعمال ابن رشد والبطروجي، أدت إلى تعمق في التفكير حول وضع النظريات الفلكية، وإلى ظهور موضوعات ستعود وتقفز إلى الواجهة في القرن السادس عشر خلال الجدال بين فرضيات بطلميوس وفرضيات كوبرنيكوس. وقد عبر توما الأكويني (Thomas d'Aquin) (١٢٢٥ - ١٢٧٤م) عن هذه الموضوعات بوضوح، عندما قال إن الافتراضات التي تصورها الفلكيون ليست حقيقية بالضرورة، حتى وإن بدت قادرة على تبرير المظاهر، إذ إننا ربما استطعنا شرح هذه المظاهر بعملية ما مختلفة لم يتم تصورها حتى الآن. يقابل توما بذلك بين طريقتين لتعليل ظاهرة ما، تتلخص الأولى في الإثبات الكافي لمبدأ ما تنتج منه الظاهرة، وتتلخص الثانية بتوضيح توافق ما بين الظاهرة وبين مبدأ ما موضوع مسبقاً. وبرأي توما، يستخدم علم الفلك العملية الثانية التي تكفي لتبرير وتفسير المظاهر المحسوسة.

في هذا الجدال الدائر بين الفيزياء وعلم الفلك، الذي كان أرسطو وبطلميوس بطليه في عصر سيمبليسيوس، والذي تجدد على شكل مجابهة بين بطلميوس والبطروجي، وجد

---

(٢٦) حول هذا الموضوع، انظر: Duhem, *Le Système du monde: Histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*, vol. 3, pp. 241 - 498 et passim.

بعض اللاتينيين من أتباع الفلسفة المدرسية عنصر حل في مؤلف كاتب عربي آخر، هو **هيئة العالم** لابن الهيثم (المتوفى حوالى ١٠٤١م)، وقد حفظت ثلاث ترجمات لاتينية مغفلة عنه (تعود إحداها إلى العام ١٢٦٧م)[٢٧]. يشكل هذا المؤلف وصفاً للكون من دون أداة رياضية، حيث يستعيد ابن الهيثم أنظمة الأفلاك المجسمة التي تصورها بطلميوس في كتابه **في أصول حركات الكواكب المتحيرة**. وبتصوير بياني، فإن كرة كل كوكب تتألف من فلك متحد المركز مع الأرض، وفيه يقع فلك مختلف المركز يتضمن دائرة بطلميوس وفلك التدوير. ويملك جزءا الفلك متحد المركز، وأحدهما داخلي والآخر خارجي بالنسبة إلى الفلك مختلف المركز، سماكتين مختلفتين وتتحدد وظيفتهما في موازنة الاختلاف المركزي إلى حد ما، وفي جعل كرة الكواكب بمجموعها متحدة المركز مع العالم. وقد قدم روجر بيكون (Roger Bacon) (ت ١٢٩٤م) في مؤلفه *Opus tertium* هذا التفسير الفيزيائي لعلم الفلك البطلمي كتصور حديث (ymaginatio modernorum) تم ابتكاره بهدف تجنب مساوىء نظام الأفلاك مختلفة المركز وأفلاك التدوير. وبرأي الكاتب، يبطل هذا التفسير اعتراضات ابن رشد، وبالعكس من ذلك، فإن تغيرات مسافات الكواكب وعدم انتظام حركاتها تبدو بالنسبة إلى الكاتب كتأكيدات لفرضيات بطلميوس. وسيعتمد هذا الرأي أيضاً العديد من أساتذة القرون الوسطى، مثل برنار دو ڤردان (Bernard de Verdun) وريشار دو ميدلتون (Richard de Middleton) ودنز سكوت (Duns Scot) وغيرهم.

إن قصور نظام البطروجي عن تحليل أرصاد بسيطة تتعلق، على سبيل المثال، بالإختلاف المركزي للكواكب ـ وهذا القصور كشفه أيضاً ريجيومونتانوس (Regiomontanus) المتوفى في العام ١٤٧٦م في نهاية القرون الوسطى ـ بالإضافة إلى أهلية التصور «*ymaginatio*» الموروث عن ابن الهيثم في الرد على انتقادات ابن رشد، قد ضمنا انتصار الفرضيات البطلمية وتفسيرها الفيزيائي بمساعدة أفلاك ابن الهيثم. وقد وجد العرض الأكثر إنجازاً المتعلق بهذا التفسير في نهاية القرون الوسطى في المؤلف *Theoricae novae planetarum* الذي وضعه جورج پورباش (Georg Peurbach) في العام ١٤٥٤م، والوصف الوارد في هذا المؤلف للأفلاك السماوية قد اعتمد كعرض «قانوني» لبنية السموات حتى ذلك الوقت الذي رفض فيه تيكو براهي (Tycho Brahe) (١٥٤٦ ـ ١٦٠١م) الوجود نفسه للكرات السماوية.

---

(٢٧) إن إحدى هذه الترجمات، التي يبدو أنها وضعت عن نسخة اسبانية (مفقودة) معدة لألفونس العاشر، قد نشرت من قبل: José María Millás Vallicrosa, *Las traducciones orientales en los manuscritos de la Biblioteca Catedral de Toledo* (Madrid: [n. pb.], 1942), pp. 285 - 312.

حول التصورات الفلكية لابن الهيثم، انظر: A. I. Sabra, «An Eleventh - Century Refutation of Ptolemy's Planetary Theory,» in: *Science and History: Studies in Honor of Edward Rosen*, edited by Erna Hilfstein, Pawel Czartoryski and Frank D. Grande, Studia Copernicana; 16 (Wroclaw: Ossolineum, 1978), pp. 117 - 131.

مسألة المبادرة والتخلي عن جداول طليطلة

شكل العائق الثاني الكبير الذي اعترض فلكيي القرون الوسطى، والمتعلق بحركة المبادرة، صعوبة أكبر في تجاوزه. وقد كتب الفلكي الباريسي يوحنا الصقلي(٢٨) (Jean de Sicile) شرحاً، يعود على الأرجح إلى العام ١٢٩١م، حول الترجمة التي وضعها جيرار دو كريمون لقوانين الزرقالي الخاصة بجداول طليطلة. ويعدد هذا الفلكي في شرحه الفرضيات المختلفة التي يراها مرتبطة بمسألة المبادرة، وهي الحركة المنتظمة المقدرة وفقاً لبطلميوس بقيمة درجة واحدة كل ١٠٠ عام، ووفقاً للبتاني بقيمة درجة واحدة كل ٦٦ عاماً، وحركة الذهاب والإياب بقيمة درجة كل ٨٠ عاماً وبسعة ثماني درجات، والتي استبعدها البتاني؛ ثم حركة الإقبال والإدبار الواردة في المؤلف *De motu octavae spherae* المنسوب إلى ثابت بن قرة. ومن جهته، يرفض هذا الفلكي حركة الإقبال والإدبار، ويلتزم بالتصور البطلمي عن الحركة المنتظمة، معتبراً أن قيمتها الصحيحة غير مؤكدة. وبذلك، يكون يوحنا الصقلي الشاهد على عدم ثقة الوسط الفلكي الباريسي في ذلك العصر بالنظرية الواردة في *De motu*، وبشكل أعم بجداول طليطلة.

في الواقع، وفي نهاية القرن الثالث عشر للميلاد، لم يعد مقبولاً ذلك الفارق بين المواقع التي تم حسابها انطلاقاً من جداول طليطلة أو من الجداول اللاتينية المشتقة عنها، وبخاصة جداول تولوز، وبين المواقع المرصودة للكواكب. وهكذا، فإن غليوم دو سانت كلود(٢٩) (Guillaume de Saint-Cloud)، بالاستناد إلى أرصاد أجراها بهدف إعداد زيجه، قدر الفارق بين مواقع الأوج المتحرك ومواقع الأوج الثابت على الكرة الثامنة بقيمة 10 ; 13° للعام ١٢٩٠ وبقيمة 15° ; 10 للعام ١٢٩٢م. عندها، وبعد أن لاحظ أن هذا الفارق هو أكبر بمقدار درجة تقريباً من القيمة التي يمكن أن تنتج عن حساب يتم وفقاً لقانون الحركة الموضوع في *De motu octavae spherae*، استنتج خلاصة تقول برفض هذا القانون، كما سلم بأن حركة المبادرة يجب اعتبارها، على الأقل بشكل مؤقت، منتظمة بمعدل درجة في العام (وهي قيمة قريبة من تلك القيمة التي حصل عليها البتاني). وفيما يتعلق من جهة أخرى بالحركات المتوسطة للكواكب، فقد أدخل غليوم تصحيحات تجريبية إلى جذور جداول طليطلة، بإضافة أو بطرح كميات ثابتة، هي 15° ; 1 + لزحل، 1° − للمشتري،

---

(٢٨) انظر: Emmanuel Poulle, «John of Sicily,» in: *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 7, pp. 141 - 142.

(٢٩) حول هذا الفلكي وحول القيم الوارد ذكرها، انظر: Emmanuel Poulle: «William of Saint - Cloud,» in: Ibid., vol. 14, pp. 389 - 391, and *Les Instruments de la théorie des planètes selon Ptolémée: Equatoires et horlogerie planétaire du XIIIe au XVIe siècle*, hautes études médiévales et modernes; 42, 2 vols. (Paris: Dröz - Champion, 1980), pp. 68 and 209.

3° – للمريخ، 22° ; 0 + للقمر. كذلك، اقترح كاتبان باريسيان آخران هما پيار دو سانت أومر (Pierre de Saint-Omer) وج. مارشيوني[٣٠] (G. Marchionis) هذه التصحيحات نفسها في مؤلفيهما عن «الصفيحة الجامعة» الموضوعين في العامين ١٢٩٤ و١٣١٠م على التوالي. وبالإضافة إلى ذلك، قدر پيار دو سانت أومر الفارق بين الأوج الثابت والأوج المتحرك بقيمة 10° ; 10، وذلك بالاستناد إلى تقديرات غليوم دو سانت كلود لحركة المبادرة، التي استلهمها أيضاً على الأرجح پروفاتيوس (Profatius) في مؤلفه عن الصفيحة الجامعة الموضوع بين العامين ١٣٠٠ و١٣٠٦م. وهكذا تشهد مجموعة من النصوص العائدة إلى أواخر القرن الثالث عشر للميلاد كحد أقصى على نهاية تأثير لم يكن له منازع لجداول طليطلة. فقد كف فلكيو ذلك العصر عن اعتبارها وافية للغرض. ورفضوا بشكل خاص حركة الإقبال والإدبار وآثروا عليها حركة منتظمة للمبادرة.

لكن هذه الانتقادات لم تمارس مع ذلك تأثيراً إلا لفترة قصيرة من الزمن. ففي بداية القرن الرابع عشر للميلاد، تم استبدال جداول طليطلة في علم الفلك اللاتيني بالجداول الألفونسية. ولم يبق من الجدول التي كتبت بالاسبانية خصيصاً للكونت ألفونس العاشر القشتالي بين العامين ١٢٥٢ و١٢٧٢م، سوى القوانين الواردة فيها. وبالمقابل، فإن النسخة اللاتينية، التي ظهرت في باريس في العام ١٣٢٠م، هي التي هيمنت منذ ذلك الوقت على علم الفلك الذي يعتمد على الجداول حتى صدور مؤلف كوبرنيكوس *De revolutionibus* في العام ١٥٤٣م. وفي أول محاولة معروفة متعلقة بعلم الفلك الجديد، متمثلة في المؤلف *Expositio tabularum Alfonsi regis Castelle*[٣١] الموضوع في العام ١٣٢١م، يلتزم جان دو مور (Jean de Murs) الصمت حيال قيم وسائط الكواكب، والاختلافات المركزية لأفلاك التدوير، وعظم هذه الأفلاك، ويركز دراسته على القيم المعطاة في الجداول الألفونسية لمتوسط حركة الشمس ولحركة أوج كل كوكب. وفي الواقع، فإن أكثر ما يميز الجداول الألفونسية عن الجداول السابقة هو معالجتها لحركة المبادرة. وبرأي جان دو مور نفسه، تمثل هذه الجداول محاولة توفيق بين النظرية البطلمية عن حركة المبادرة المنتظمة والنظرية العربية عن حركة الإقبال والإدبار. وتتألف حركة الأوج والنجوم، وفقاً للنظرية الألفونسية، من مركبتين هما: حركة منتظمة وفق توالي البروج وتساوي دورتها ٤٩٠٠٠ سنة (أي درجة واحدة في أكثر من ١٣٦ سنة بقليل)،

---

(٣٠) حول هذين المؤلفين، انظر: Poulle, *Les Instruments de la théorie des planètes selon Ptolémée: Equatoires et horlogerie planétaire du XIIIe au XVIe siècle*, pp. 205 - 209 et 260 - 265.

(٣١) إن هذا المؤلف الهام قد نشره: Emmanuel Poulle, «Jean de Murs et les tables alphonsines,» *Archives d'histoire doctrinale et littéraire du moyen âge*, vol. 47 (1980), pp. 241 - 271.

انظر أيضاً: Emmanuel Poulle, «John of Murs,» in: *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 7, pp. 128 - 133.

وحركة إقبال وإدبار بالنسبة إلى تقاطع منطقة البروج مع خط الاستواء، وتساوي دورتها ٧٠٠٠ سنة، مع فعالية قصوى بقيمة تسع درجات. فقد تم إذاً الإبقاء على حركة الإقبال والإدبار، الواردة في *De motu*، بصفتها مركبة تعمل على تغيير سرعة حركة مبادرة الأوج والنجوم. وعلاوة على ذلك، أخذت حركة المبادرة هذه بعين الاعتبار منذ بداية العمليات الحسابية لمواقع الكواكب، وليس في نهايتها كما هو الحال في جداول طليطلة عندما يتعلق الأمر بنقل الأماكن التي تم تحديدها على كرة النجوم الثابتة إلى إحداثيات مدارية. وبشكل أعم، فقد تم تصميم الجداول الألفونسية لكي تحدد الأماكن الحقيقية للكواكب على الكرة التاسعة مباشرة، أي بإحداثيات مدارية.

وفيما يتعلق بمعادلات الكواكب(٣٢)، فإن تلك المعادلات الموجودة في جداول طليطلة لم تتلق سوى تعديلات طفيفة من قبل الفلكيين الألفونسيين، باستثناء الحالات المتعلقة بالشمس والزهرة والمشتري. إن التغيير في المعادلة القصوى للشمس (وبالتالي، في جدول المعادلة الخاص بها) ينتج عن تعديل ضمني، غير موضح في أي قانون، في الاختلاف المركزي للشمس الذي تتغير قيمته من 6 ;2 جزء في جداول طليطلة (30 ; 2 جزء عند بطلميوس) إلى 15 ; 2 جزء عند الفلكيين الألفونسيين. وبما أن الاختلاف المركزي للزهرة (الاختلاف المركزي لدائرة بطلميوس الخاصة بالزهرة) كان يتم اعتباره بشكل تقليدي مساوياً لنصف الاختلاف المركزي للشمس، أي 8 ; 1 جزء عند الفلكيين الألفونسيين (بدلاً من 15 ; 1 جزء عند بطلميوس و3 ; 1 جزء في جداول طليطلة)، فقد تمّ تعديل المعادلة القصوى للزهرة والجدول المقابل للمعادلة بطريقة مماثلة. وأخيراً، بالنسبة إلى المشتري، فإن زيادة المعادلة القصوى، التي تتغير من 15 ; 5 جزء في جداول بطلميوس وطليطلة إلى 57 ; 5 جزء في الجداول الألفونسية، تعكس نمواً من 45 ; 2 جزء إلى 7 ; 3 جزء في الاختلاف المركزي للمشتري. بالمقابل، فيما يتعلق بشعاعات أفلاك التدوير، فإن الوسائط المشتقة (بواسطة حسابات عصرية) انطلاقاً من القيم المجدولة لمعادلة الحصة، تظهر أن الجداول الألفونسية مبنية على قيم مماثلة لتلك التي تشكل أساس جداول طليطلة وجداول بطلميوس.

وبالإجمال، أبقت الفرضيات الجديدة على بنية النماذج البطلمية للكواكب دون تغيير، باستثناء ما يرتبط بالاختلافات المركزية للشمس والزهرة والمشتري. وما تغيّر بشكل أساسي هو، مرة أخرى، نظرية حركة الشمس، ونظرية حركة النجوم الثابتة المرتبطة بشكل وثيق بنظرية حركة الشمس. وقد لعبت أيضاً، في هذا المجال، المفاهيم الواردة في *De motu octavae spherae* دوراً أساسياً، فهي بالتأكيد لم تعد تستخدم لوصف حركة الانقلابين نفسها، بل لوصف تغيرات سرعة هذه الحركة.

---

(٣٢) إن المعلومات التي تلي مأخوذة من: Poulle, *Les Instruments de la théorie des planètes selon Ptolémée: Equatoires et horlogerie planétaire du XIIIe au XVIe siècle*, pp. 26 - 27 et 767 - 769.

بعد أن أصبحت الجداول الفلكية مستوفاة بفضل الإصلاحات الألفونسية، وجه كبار الفلكيين من نهاية القرون الوسطى اهتمامهم إلى تحليل النماذج الحركية البطلمية. نذكر بشكل خاص عمل بورباش (Peurbach) وعنوانه *Theoricae novae planetarum*، وكتاب *Epitome in Almagestum Ptolemaei*، الذي بدأه بورباش وأنجزه ريجيومونتانوس. في العمل الثاني، الذي يتضمن تحليلاً مفصلاً للغاية لمؤلف بطلميوس، وجد كوبرنيكوس مصدره الرئيس الذي يتعلق بالنتائج التي حصل عليها الفلكيون العرب، وبشكل خاص البتاني والزرقالي. أما في العمل الأول، فقد استطاع معرفة بنية الكرات المجسمة، الموروثة عن كتاب بطلميوس **في اقتصاص أصول حركات الكواكب المتحيرة** وعن كتاب ابن الهيثم **هيئة العالم**. كما استطاع أيضاً في هذا العمل قراءة وصف حركة الإقبال والإدبار وفقاً لـ *De motu octavae spherae*، وذلك في فصل يدور حول هذا الموضوع، كان بورباش قد أضافه لاحقاً إلى النسخة الأصلية. كما استطاع هناك أخيراً، أن يتعرف إلى تمثيل دائرة بطلميوس الخاصة بعطارد كشكل بيضاوي. وقد ورد أول ذكر لهذا الشكل في مؤلف للزرقالي عن «الصفائح الجامعة» كان معروفاً في الغرب من خلال ترجمة إسبانية وردت في كتاب *Libros del Saber*، الذي تم وضعه تلبية لطلب ألفونس العاشر. وقد كان هذا المؤلف على الأرجح المصدر الأساسي الذي اعتمده بورباش(٣٣).

إن قضية التأثير العربي على نصوص كوبرنيكوس(٣٤) تقود إلى مجموعتين من المسائل، تتعلق الأولى منهما بنظرية المبادرة وبنظرية الشمس، أما الثانية فتتعلق بنظرية الكواكب. وكما رأينا سابقاً، فإن مسألة حركة الشمس والنجوم هي التي شكلت، على امتداد القرون الوسطى كلها، العقبة الرئيسة أمام الفلكيين اللاتينيين. لذلك لن تعترينا الدهشة إذا ما

---

(٣٣) حول مسائل الكرات المجسمة وحول تصوير دائرة بطلميوس الخاصة بعطارد عند بورباش (وحول مصادره العربية)، انظر: Willy Hartner, «The Mercury Horoscope of Marcantonio Michiel of Venice: A Study in the History of Renaissance Astrology and Astronomy,» *Vistas in Astronomy*, vol. 1 (1955), pp. 84 - 138, reprinted in: Willy Hartner, *Oriens - Occidens*, Collectanea; 3 (Hildesheim: G. Olms, 1968), pp. 440 - 495.

(٣٤) توجد لمحة عامة حول التأثير الذي مارسه علم الفلك العربي على كوبرنيكوس، في: Noël M. Swerdlow and Otto Neugebauer, *Mathematical Astronomy in Copernicus's De Revolutionibus*, Studies in the History of Mathematics and Physical Sciences; 10, 2 vols. (New York: Springer - Verlag, ©1984), pp. 41 - 48.

حول *Commentariolus* انظر أيضاً: Noël M. Swerdlow, «The Derivation and First Draft of Copernicus's Planetary Theory: A Translation of the *Commentariolus* with Commentary,» *Proceedings of the American Philosophical Society*, vol. 117, no. 6 (December 1973), passim.

علمنا أن أول مأثرة لكوبرنيكوس، حسب اعتقاد تلميذه رتيكوس (Rheticus)، تمثلت في حل هذه المسألة.

إن الجدل الطويل حول وسائط الشمس في القرون الوسطى (الاختلاف المركزي، وموقع الأوج، وميل فلك البروج)، وحول المبادرة أو ارتجاج الاعتدالين، يتخذ مظهراً جديداً في نظام كوبرنيكوس. وذلك منذ أن أخذت الأرض على عاتقها ليس الدوران اليومي فحسب، بل الدوران السنوي كذلك، بالإضافة إلى انزلاق الاعتدالين بالنسبة إلى النجوم الثابتة. وهذا الانزلاق باتجاه الغرب، هو الذي يتسبب بالفارق بين طول السنة النجمية وطول السنة المدارية، وهو يعود إلى حركة محور الأرض. وبعد أن أخذ كوبرنيكوس بعين الاعتبار، في مؤلفه *Commentariolus*، في آنٍ واحد أطوال السنة المدارية التي حددت عند بطلميوس وعند البتاني وفي الجداول الألفونسية، والقيم المقابلة للمبادرة التي تقدمها المصادر نفسها، استنتج أن الحساب في جميع الحالات يحدد سنة نجمية ثابتة وقدرها 365 يوماً و 1/6 6 ساعة. ولكن النموذج المبتكر في *Commentariolus* لتحليل هذه النتيجة، ونعني به الحركة باتجاه الغرب لمحور الأرض (التي تكمل دورانها المحوري في سنة مدارية، بينما يدور الفلك الكبير الذي يحمل الأرض باتجاه الشرق في سنة نجمية) لم يكن كافياً بعد لأن ينتج سوى حركة مبادرة منتظمة. فقد اعترف كوبرنيكوس نفسه بأنه، حتى ذلك التاريخ لم يكن قد اكتشف قانون حركة المبادرة. غير أن ذلك يعني، كما سبق، أن كرة النجوم ثابتة، وأن خطوط القبوين للكواكب ثابتة بالنسبة إلى الكرة، وأن حركة محور الأرض هي التي تزيح الاعتدال بالنسبة إلى فلك البروج. وهذا يعني أيضاً، عودة كوبرنيكوس إلى مفاهيم الفلكيين العرب التي تعتبر، ومنذ عصر ثابت بن قرة والبتاني، أن السنة النجمية ثابتة وأن دورات حركات الكواكب مثبتة بالنسبة إلى النجوم.

غير أن التماثل لا يتوقف عند هذا الحد. ففي الواقع، عندما يهتم كوبرنيكوس في مؤلفه *De revolutionibus* بوصف تباينات حركات الأرض بشكل أكثر دقة، فإنه يجري إحصاءً تاريخياً للتقديرات، التي حصل عليها من سبقه، والمتعلقة بميل فلك البروج، والاختلاف المركزي للشمس وموقع أوجها. وبالنسبة إلى مرحلة القرون الوسطى[٣٥]، فهو يلجأ إلى النتائج التي حصل عليها البتاني والزرقالي. وأمام تعدد القيم التي تم إحصاؤها، وجد كوبرنيكوس نفسه أمام مشكلة، هي بالضبط نفسها التي واجهت الفلكيين العرب في القرن التاسع للميلاد بعد قيامهم بتحديداتهم الجديدة لقيم الوسائط موضوع البحث. تتلخص هذه المشكلة على الشكل التالي: هل تفسر الاختلافات في القيم التي تم الحصول عليها بأخطاء، أم بتغيرات طويلة الأمد في هذه القيم؟ وبكلام آخر، هل ينبغي استبعاد بعضها، أم يجب دمجها جميعها في قوانين الحركة التي يجري تحديدها؟ فيما يتعلق بهذه

---

(٣٥) يوجد ملخص جيد لهذا الاحصاء التاريخي وللخلاصات التي يستنتجها كوبرنيكوس، في:
Rhäticus, *Narratio prima,* pp. 94 - 98.

المسألة، فإن مثال *De motu octavae spherae* هو الذي ألهم كوبرنيكوس. وفي الواقع، وكما فعل كاتب هذا المؤلف، يعتبر كوبرنيكوس أن الأرصاد مجتمعة تعكس تغيرات دورية في الحركات موضوع البحث، ويبني نموذجاً، على غرار *De motu*، يجمع بين سنة نجمية منتظمة وارتجاج للاعتدالين. لكن هذا الارتجاج عند كوبرنيكوس ليس بسيطاً، بل مركباً، كما هو الحال في الجداول الألفونسية، من حد قرني ومن حد آخر دوري (يملكان على التوالي دورة قدرها 25816 سنة وأخرى قدرها 1717 سنة من 365 يوماً).

إن تغير درجة المبادرة لا يكفي مع ذلك، وفقاً لكوبرنيكوس، لشرح تغير طول السنة. في رأيه، ينبغي أيضاً إدخال متباينتين طويلتي الأمد تؤثران، بناءً على إحصائه، على حركة الشمس. وهاتان المتباينتان هما النقص في الاختلاف المركزي وحركةٌ غير منتظمة لخط القبوين. وقد وجد الفلكيون اللاتينيون للمرة الأولى، عند الزرقالي بالذات، تأكيداً للحركة الذاتية (لكن غير المنتظمة) لأوج الشمس وتمييزاً واضحاً للسنة الحاصيّة التي كان يتم خلطها حتى ذلك الحين مع السنة المدارية (بطلميوس) أو مع السنة النجمية (ابن قرة والبتاني). ويستعير كوبرنيكوس[٣٦] من الزرقالي أيضاً، عن طريق المؤلف *Epitome* العائد لريجيومونتانوس، الآلية المعدة لكي تحلل في آن معاً تغير الاختلاف المركزي (التي يفترض أن دورته مساوية لدورة تغير ميل فلك البروج) وتباين حركة خط القبوين. لذلك يكفي ببساطة أن نجعل مركز الفلك الأرضي (أي الشمس المتوسطة) يرسم دائرة صغيرة حول نقطة تبعد عن الشمس الحقيقية مسافة مساوية للاختلاف المركزي المتوسط، وذلك وفق دورة مطلوبة (بمقدار 3434 سنة من 365 يوماً).

وربما صدر عن الزرقالي أيضاً مبدأ نموذج كوبرنيكوس الذي يمثل التغيرين المتزامنين للمبادرة ولميل فلك البروج. فقد تسنى للزرقالي، في الواقع، أن يجعل هذين التغيرين مستقلين بعضهما عن بعض باستخدامه من جهة لفلك تدوير موضوع حول الاعتدال، وذلك بهدف تغيير المبادرة (وفقاً لطريقة *De motu*)، وباستخدامه من جهة أخرى لفلك تدوير قطبي (مركزه كان موضوعاً على دائرة بطلميوس متحدة المركز مع قطب فلك البروج) وذلك بهدف تغيير ميل فلك البروج[٣٧]. وقد تم فيما بعد تعميم طريقة أفلاك

---

(٣٦) حول النظرية الشمسية لابن الزرقالي، وانتقالها إلى الغرب اللاتيني، انظر: G. J. Toomer, «The Solar Theory of az-Zarqāl: A History of Errors,» *Centaurus,* vol. 14, no. 1 (1969), pp. 306 - 336.

(٣٧) انظر: Bernard Raphael Goldstein, «On the Theory of Trepidation According to Thābit b. Qurra and al-Zarqāllu and Its Implications for Homocentric Planetary Theory,» *Centaurus,* vol. 10 (1964), pp. 232 - 247, and Nūr al-Din Abū Ishāk al-Bitrūjī, *On the Principles of Astronomy,* an edition of the arabic and hebrew versions with translation, analysis, and an arabic - hebrew - english glossary by Bernard R. Goldstein, Yale Studies in the History of Science and Medicine; 7, 2 vols. (New Haven, Conn.: Yale University Press, 1971).

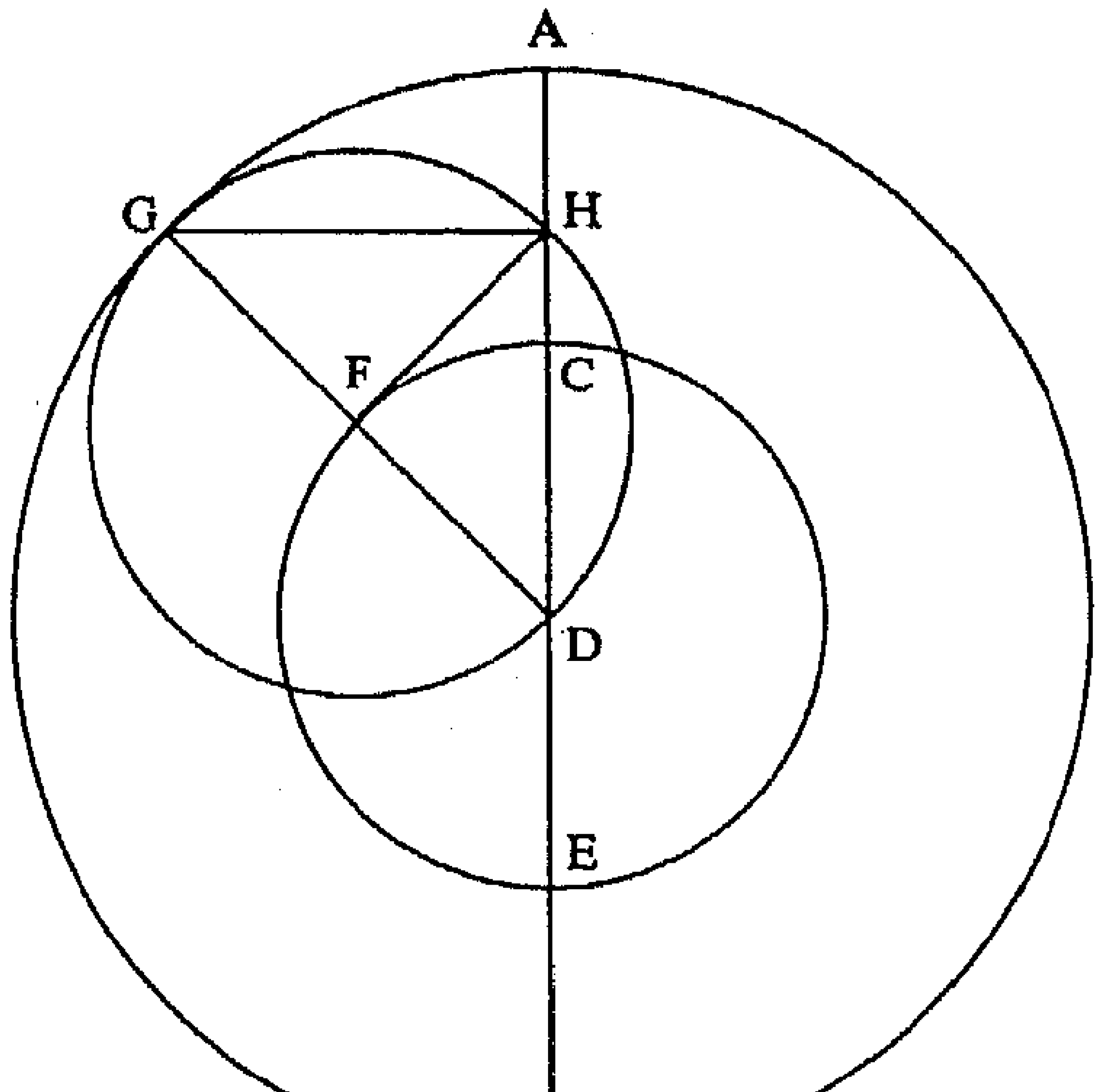
التدوير القطبية على يد البطروجي، الذي استخدمها في معالجة جميع حركات الكواكب، لكن هذه الطريقة تؤدي إلى نتيجة سيئة تتمثل في تعلق خط العرض بخط الطول (وبشكل أكثر دقة بحصة الكوكب). يأخذ كوبرنيكوس بدوره طريقة أفلاك التدوير القطبية كجزء من حل مركب، يمكن اعتماده نظراً لأن تغير المبادرة وتغير فلك البروج يمكن معالجتهما كتذبذبين متعامدين لمحور خط الاستواء السماوي. يتعلق الأمر عندئذ بإسناد دائرة قطبية صغيرة بقطر ملائم إلى كل واحد من هذين التغيرين، وبجعل محور الأرض يتحرك على قطري هاتين الدائرتين بحركتي تذبذب، وبضم مجموع هذين التذبذبين بحيث يحدثان في مستويين عموديين وفي الدورات المطلوبة. إن العملية التقنية، التي استخدمها كوبرنيكوس للحصول على كل واحد من هذين التذبذبين، قد عرضها نصير الدين الطوسي (١٢٠١ - ١٢٧٤م) في مؤلفه الكبير **التذكرة في علم الهيئة**، لذلك سماها البحاثة المعاصرون «مزدوجة الطوسي». وبذلك فإن هذه العملية، التي استخدمها الطوسي في نظرية الكواكب، تقودنا إلى المجموعة الثانية من المسائل المتعلقة بالتأثير العربي على علم الفلك الكوبرنيكي.

في هذه المجموعة من المسائل، لا يتعلق الأمر بالخاصة الكوكبية الثانية التي ترتبط بنظرية شمسية المركز التي تبررها، بل بالخاصة الأولى التي تم شرحها في النظرية البطلمية بواسطة حركة منتظمة لدائرة بطلميوس مختلفة المركز حول نقطة لا تمثل مركزها الخاص، بل مركز اعتدال المسير. وقد لقيت مثل هذه الحركة نقداً حاداً، بصفتها مخالفة لمبادىء الفيزياء نفسها، من قبل ابن الهيثم، ثم من قبل فلكيين مرتبطين بمرصد مراغة (الذي شيده هولاكو في العام ١٢٥٩م) مثل نصير الدين الطوسي ومؤيد الدين العرضي (المتوفى في العام ١٢٦٦م) وقطب الدين الشيرازي (١٢٣٦ - ١٣١١م)، وكذلك من قبل الفلكي الدمشقي ابن الشاطر (١٣٠٤ - ١٣٧٥م)[٣٨]. وقد استخدم هؤلاء الفلكيون، بهدف تجنب هذه الصعوبة، طريقة تتمثل في تحليل الحركة حول مركز اعتدال المسير إلى مركبتين أو أكثر، وتمثل هذه المركبات حركات دائرية وتضبط اتجاه ومسافة مركز فلك التدوير، بحيث يكون هذا المركز قريباً إلى أقصى حد ممكن من الموقع الذي يمكن أن يأخذه في نموذج بطلميوس. وقد استخدم الفلكيون الشرقيون لهذه الغاية عمليتين تقنيتين، تتمثل الأولى في جمع أفلاك التدوير من أجل إحداث الأثر البطلمي لتنصيف الاختلاف المركزي، أما الثانية

(٣٨) من بين جميع هذه المصنفات حول هذا الجانب من علم الفلك العربي، لن نأخذ هنا سوى دراسات تتناول مباشرة مقارنة النماذج العربية مع نماذج كوبرنيكوس. انظر: Edward Stewart Kennedy: «Late Medieval Planetary Theory,» *Isis*, vol. 57, no. 189 (Fall 1966), pp. 365 - 378, and Victor Roberts, «The Planetary Theory of Ibn al-Shāṭir,» *Isis*, vol. 50, no. 161 (September 1959), pp. 227 - 235, and Willy Hartner, «Trepidation and Planetary Theories: Common Features in Late Islamic and Early Renaissance Astronomie,» *Accad. Naz. dei Lincei, Fondazione Alessandro Volta, Atti dei Convegni*, vol. 13 (1971), pp. 606 - 629.

فتتمثل في «مزدوجة الطوسي». يسمح هذا المخطط بالحصول على حركة مستقيمة انطلاقاً من حركات دائرية بالطريقة التالية (الشكل رقم (٥ ـ ٢)): إذا كانت دائرتان متساويتان تدوران حول محوريهما الخاصين D وF، بحيث ان الدائرة التي مركزها F تدور باتجاه معاكس لدوران الدائرة التي مركزها D، وأسرع منها بمرتين، فإن النقطة H (حيث $\widehat{GFH} = -2\widehat{CDF}$) من محيط الدائرة التي مركزها F ترسم بحركة تذبذب (أو اهتزاز بتعبير كوبرنيكوس) قطر AB الدائرة الكبرى (التي مركزها D وشعاعها يساوي ضعفي شعاع كل من الدائرتين الصغيرتين). إذا كان المخطط موجوداً في مستوٍ، فإنه ينتج تذبذباً مستقيماً للنقطة H. وإذا كان على كرة، فإن القطر AB، الذي ترسمه النقطة H، يكون قوساً من الدائرة الكبرى (شريطة أن يكون التذبذب خفيفاً).

استخدم كوبرنيكوس هاتين العمليتين التقنيتين، «مزدوجة الطوسي» وجمع أفلاك التدوير. والأولى، كما رأينا، تم استخدامها لكي تحلل في آن معاً تباين المبادرة وتغير ميل فلك البروج. ولا يتصرف كوبرنيكوس بمخطط واحد فقط مأخوذ من الطوسي، بل باثنين، بحيث يكون القطران، اللذان يرسمهما التذبذبان الناتجان، في مستويين متعامدين، وبحيث يتقاطعان في القطب الشمالي المتوسط لخط الاستواء (وبالطبع، يتم اختيار شعاعي الدائرتين وسرعتي الدوران بحيث تملك الحركتان التذبذبيتان السعة والدورية المطلوبة). ويستخدم كوبرنيكوس كذلك مخطط الطوسي، مثلما فعل مؤلف التذكرة نفسه، بهدف تحليل تذبذبات المستويات المدارية في نظرية خطوط العرض.



الشكل رقم (٥ ـ ٢)

دورة كوبرنيكوس.

وأكثر ما يثير الدهشة أيضاً، هو أن كوبرنيكوس وابن الشاطر (في مؤلفه **نهاية السول في تصحيح الأصول**) قد استخدما بشكل مماثل العملية الثانية، أي جمع أفلاك التدوير بهدف تمثيل حركات الكواكب بخطوط الطول، مع تجنب الصعوبات المرتبطة بوجود اعتدال المسير البطلمي. وهكذا، فإن جميع نماذج الكواكب الواردة في *Commentariolus* هي مماثلة، فيما يتعلق بالخاصة الأولى، لنماذج ابن الشاطر، التي يتم فيها استبدال الجمع بين دائرة بطلميوس وبين فلكي التدوير بحركة دائرة بطلميوس بالنسبة إلى مركز اعتدال المسير. والفارق الوحيد بين هذين الكاتبين يكمن في قيم الوسائط، وبالطبع في واقع أن الأرض تمثل مركز نماذج الكواكب عند ابن الشاطر، في حين أن الشمس هي التي تلعب هذا الدور عند كوبرنيكوس. هناك تشابه آخر يقرب ما بين نماذج كوبرنيكوس وابن الشاطر، فالاثنان يضعان «مزدوجة الطوسي» في طرف شعاع دائرة بطلميوس الخاصة بعطارد، بطريقة تسمح بتغيير مقدار شعاع فلك هذا الكوكب، ويتم ذلك بإلزام مركز فلك التدوير الأول بحركة تذبذب وفق خط موجه بشكل دائم نحو مركز دائرة بطلميوس. هناك تماثل أخير، فنموذج القمر في *Commentariolus* وفي *De revolutionibus*، هو نفسه نموذج ابن الشاطر، باستثناء ما يتعلق بالوسائط.

توحي هذه الأوجه العديدة من التشابه أن كوبرنيكوس قد تأثر بالفلكيين الشرقيين من القرنين الثالث عشر والرابع عشر للميلاد. صحيح أننا لا نعرف أية ترجمة لاتينية لأعمالهم، وحتى أي ذكر لهم في المصنفات اللاتينية العائدة إلى نهاية القرون الوسطى. لكن، يبدو أن انتقال بعض هذه النصوص العربية إلى الغرب اللاتيني قد تسنى بواسطة مصادر بيزنطية وصلت إلى إيطاليا في القرن الخامس عشر. وهكذا، تم العثور على النموذج القمري العائد للطوسي وعلى رسم يمثل «مزدوجة الطوسي» في مخطوطة (محفوظة في الفاتيكان منذ العام ١٤٧٥م على أبعد تقدير) لترجمة يونانية، وضعها حوالى العام ١٣٠٠م شيونيادس (Chioniades) عن أصل عربي، كما أن هناك دليلاً آخر على استخدام «مزدوجة الطوسي» يتمثل في مؤلف جيوڤاني باتيستا أميكو (Giovanni Battista Amico) وعنوانه *De motibus corporum coelestium iuxta principia peripatetica sine excentricis et epicyclis*. وقد ظهر هذا المؤلف في البندقية في العام ١٥٣٦م، وفيه يبذل الكاتب جهده من أجل إعادة الحياة إلى علم الفلك متحد المركز بمساعدة نماذج مبنية جميعها على استخدام هذه العملية(٣٩).

(٣٩) هذان الاسنادان مستعاران من: Swerdlow and Neugebauer, *Mathematical Astronomy in Copernicus's De Revolutionibus*, pp. 47 - 48.
حول أميكو، انظر: Noël M. Swerdlow, «Aristotelian Planetary Theory in the Renaissance: Giovanni Battista Amico's Homocentric Spheres,» *Journal for the History of Astronomy*, vol. 3 (1972), pp. 36 - 48.

نهاية تأثير علم الفلك العربي في الغرب اللاتيني

حدد كوبرنيكوس نهاية المرحلة الطويلة من تأثير علم الفلك العربي في الغرب اللاتيني. وقد كان آخر من استخدم بشكل ثابت نتائج أرصاد تمت استعارتها من الكتّاب العرب، وهي نتائج أفادته في إعداد تقديراته للتغيرات طويلة الأمد في الوسائط الشمسية. ولقد كان أيضاً آخر من حزم أمره لمصلحة الموضوعة الناشئة عن *De motu octavae spherae*، التي تتمثل في التعامل بجدية مع مجموع أرصاد الماضي بهدف استخلاص قوانين الحركة، عوضاً عن الاستدلال من أرصاد حديثة بهدف نقض النظريات التي وجدت سابقاً. إذا أخذنا مرة أخرى تقسيم كبلر لعلم الفلك النظري إلى ثلاثة أجزاء، فإننا نتبين أن الأرصاد، التي أجراها تيكو براهي بعد كوبرنيكوس بفترة قصيرة من الزمن، ستجعل بفضل دقتها وغزارتها كل إسناد إلى تاريخ الأرصاد القديمة غير مجدٍ. أما فيما يتعلق بالنماذج الهندسية البطلمية، وبأشكالها المختلفة العربية أو اللاتينية، فإن كبلر يضع نهاية لها. ولم تبق سوى متطلبات التحليل الفيزيائي للظواهر، التي كان ابن الهيثم قد بذل جهده لتلبيتها، كما فعل ذلك من بعده فلكيو القرن الثالث عشر والرابع عشر للميلاد. غير أن هذه المتطلبات، وبعد أن نقض تيكو براهي وجود الكرات المجسمة، لن ترتبط وفقاً لكبلر برؤية أرسطية للعالم، بل سترتبط على الأصح برؤية مستوحاة من تقليد رياضي أفلاطوني.

ـ ٦ ـ

الجغرافيا الرياضية

إدوار س. كينيدي(*)

إن المؤرخ للعلوم الصحيحة في البلاد الإسلامية يجد نفسه غالباً في حالة من الارتباك بسبب غنى المصادر الموضوعة بين يديه، وذلك أن مئات من المصادر المخطوطة لم تلق حتى الآن أي نوع من الدراسة. وهذه هي الحال، كما يبدو، بالنسبة إلى الجغرافيا الوصفية. يجد القارىء توضيحات حول هذا الموضوع في دراسات س. مقبول أحمد(١). غير أن المتفحص لفرع هذا العلم الذي تستخدم فيه الرياضيات، يشعر بالإحباط بسبب قلة المخطوطات التي تخص هذا الفرع. فنحن نعرف مثلاً، من مصدر موثوق(٢)، أن ابن يونس (حوالى سنة ١٠٠٠ ميلادية) قد أنجز خريطة للعالم للخليفة العزيز. ولكن ليس لدينا معلومات دقيقة عن طريقة الإسقاط، ومعلوماتنا عن الخريطة نفسها أقل من معلوماتنا عن الإسقاط.

ويمكن أن نعتبر أن المعلومات الموجودة تحت تصرفنا تخص علم مساحة الأرض والخرائطية. إن الدراسة التالية تنتظم حول هذين الموضوعين الرئيسين. إن مسألة تحديد

(*) أستاذ في الجامعة الأميركية في بيروت.

قام بترجمة هذا الفصل بدوي المبسوط.

يقدم المؤلف شكره للأستاذ فوات سزجين (Fuat Sezgin) على الضيافة التي لقيها في مؤسسة فرانكفورت للدراسات العربية الإسلامية. ويشكر كذلك رينهارد زيبر (Reinhard Xieber) الذي لفت نظره إلى بعض الأخطاء والسهوات.

(١) انظر: «Djughrāfiyā,» pp. 590 - 602, et «Kharīta,» pp. 1109 - 1114, dans: *Encyclopédie de l'Islam*, 6 vols. parus, 2ème éd. (Leiden: E. J. Brill, 1960-).

(٢) انظر: إبراهيم شوكت، «خرائط جغرافيي العرب الأوَّل،» مجلة الأستاذ (بغداد)، السنة ٢ (١٩٦٢)، ص ١٢.

خطوط العرض تؤدي، فيما يخص الموضوع الأول، إلى دراسة مساحة الأرض، ثم إلى حساب خطوط الطول. وهذا يوجب تحديد خط الزوال الأولي الذي تحسب الأطوال انطلاقاً منه. وينتهي هذا القسم الأول بإشارة إلى النتائج النهائية للعمليات السابقة، أي إلى جداول أسماء الأمكنة مع إحداثياتها.

أما القسم الثاني من هذه الدراسة فهو مكرس للخرائطية. غير أن فقدان المعلومات الدقيقة، كما أشرنا أعلاه، يمنع بشكل حقيقي من تقييم درجة توغل الجغرافية الهلينستية في العالم الإسلامي. وسنرى فيما بعد أن البيروني والإدريسي يوجدان في وضعين متعاكسين: **فالأول** يعرض الإسقاطات بشكل مقبول، ولكن لا نجد أي تطبيق لها على خرائط حقيقية حتى عصر النهضة أو ما بعد عصر النهضة. **أما الثاني** فقد حفظت له نسخات عديدة من الخرائط، ولكن طرق الإسقاط التي اتبعها تبقى حدسية إلى حد كبير، وسنعرض الخرائط المرسومة من قبل علماء آخرين، ولكننا لن نحاول تحليل الخرائط البحرية العربية.

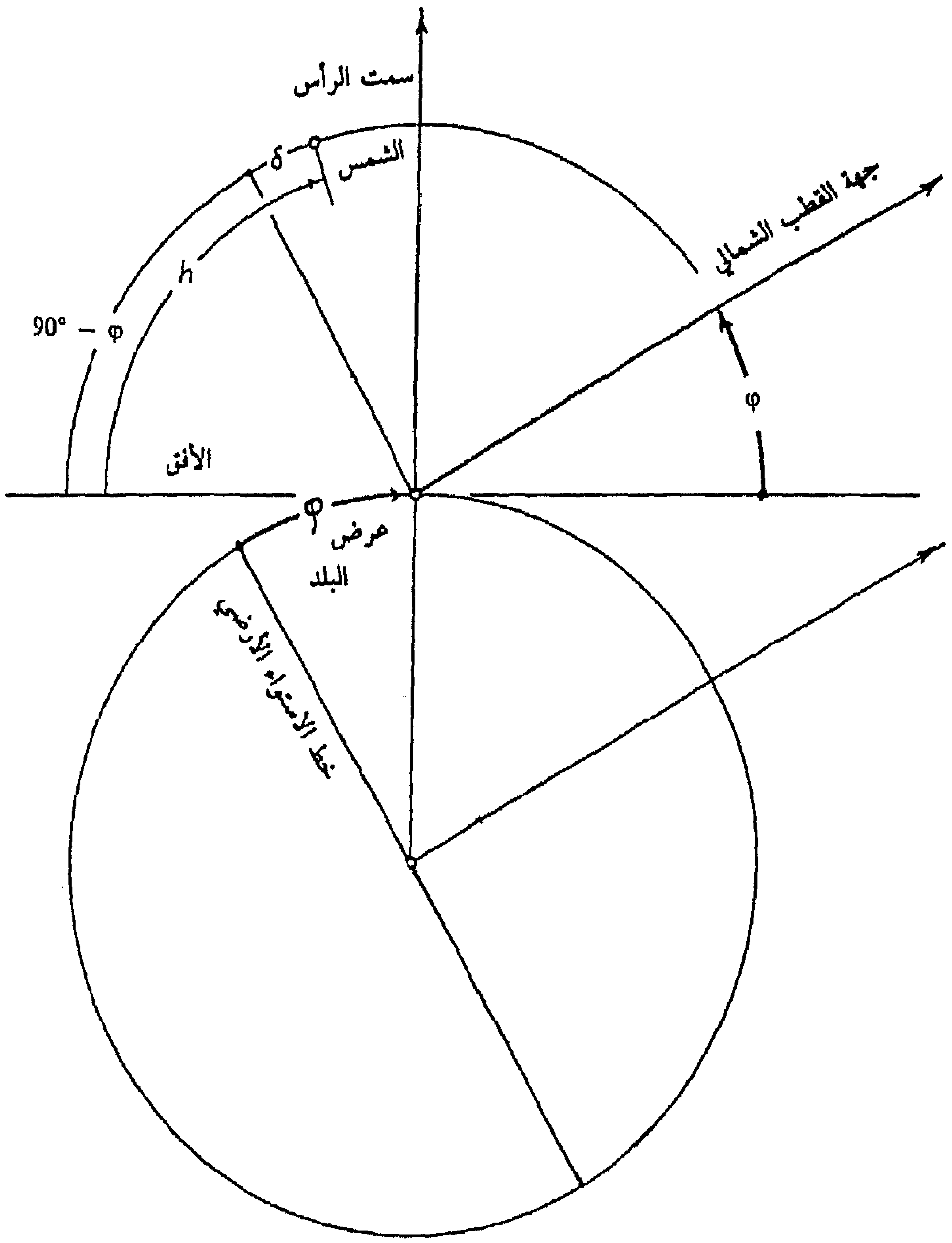
أولاً: علم مساحة الأرض (الجيوديزية)

١ ـ تحديد خطوط العرض

يمكن أن نحدد بسهولة العرض φ لمكان ما بواسطة طرق فلكية. وذلك لأن هذا العرض مساوٍ لارتفاع القطب السماوي في المكان (انظر الشكل رقم (٦ ـ ١)). ليكن h ارتفاع الشمس الزوالي (أي ارتفاع الشمس عند مرورها فوق خط زوال مكان الراصد) في مكان الراصد في يوم معين. فإذا حسب الراصد ميل الشمس δ في لحظة الرصد، نستنتج المعادلة التالية التي تتحقق في مناطق الكرة الشمالية:

$$\varphi = 90° - (h - \delta),$$

وذلك لأن ارتفاع نقطة الأوج في دائرة الاستواء السماوي مساوٍ لتمام ارتفاع القطب الشمالي. ويمكن أيضاً أن نرصد ليلاً الارتفاع الزوالي لنجمة معينة. فإذا كنا نعرف مقدار ميلها، نطبق الصيغة السابقة لنحصل على ارتفاع المكان. يستطيع الراصد أن يحصل أيضاً على ارتفاع المكان إذا حدد ارتفاعي نجمة واقعة حول أحد القطبين عند مرورها في كل من النقطتين الواقعتين على زوال المكان. عندئذ يكون ارتفاع المكان مساوياً للوسط الحسابي للارتفاعين السابقين.



الشكل رقم (٦ ــ ١)

ارتفاع نقطة الأوج في دائرة الاستواء السماوي يساوي تمام ارتفاع القطب الشمالي (وارتفاع القطب الشماليّ يساوي عرض البلد).

وقد أعطى البيروني (حوالى سنة ١٠١٠م)، في كتابه التحديد[٣]، أمثلة مفصلة عن هذه الطرق مأخوذة من وثائق لأسلافه ولمعاصريه.

قد يظن المرء، نظراً لسهولة تحديد خطوط الطول، أن القيم التي وصلتنا صحيحة بشكل كافٍ. ولكن من بين الأمكنة التي أعطى الكاشي إحداثياتها (حوالى سنة ١٤٠٠م)، وعددها ٥٠٦، هناك ٣٨١ مكاناً إحداثياتها مطابقة للإحداثيات الحديثة. إن معدل الفروق بين قيم الارتفاعات التي أعطاها الكاشي والقيم الحديثة، يساوي أربع دقائق فقط من درجات الأقواس. إلا أن معدل القيم المطلقة لنفس مجموعة الفروق هو $1° 15'$. وهذا ما يفتقر إلى الجودة. ولقد قمنا بحسابات إحصائية على خمسين مصدراً، فظهر أن النتائج التي أعطتها هذه المصادر معادلة من حيث الجودة لتلك التي وجدها الكاشي. ولكي نخفف من وطأة هذا النقد، يجب أن نذكر بأنه لم يكن باستطاعة المؤلفين التحقق بأنفسهم من قيم الارتفاعات، ما عدا عدداً قليلاً منها. وكانوا مضطرين إلى التسليم بالحسابات التي كانت تعطى لهم. بالإضافة إلى ذلك، هناك مدن عديدة لم تحظ على الأرجح بفلكيين أكفاء. غير أن النتائج المسجلة تعطي كثيراً من الارتفاعات التي لا تتعدى الأخطاء في قيمها ربع الدرجة.

٢ ـ أبعاد الأرض

حان الوقت، بعد ما تقدم، للكلام عن أبعاد الأرض. وذلك لأن الطريقة الأكثر شيوعاً خلال القرون الوسطى، لتحديد طول درجة على خط الزوال الأرضي، تستند على تحديد خطوط الطول.

لقد نظم الخليفة المأمون (الذي حكم من سنة ٨١٣ إلى سنة ٨٣٣م) عدة حملات لتحقيق هذا الغرض. ولئن اختلفت المصادر حول التفاصيل، فإنها متفقة حول الطريقة المستخدمة[٤]. وتنص هذه الطريقة، في أول الأمر، على اختيار منطقة مسطحة في البادية السورية، ثم على رصد الزاوية φ انطلاقاً من نقطة أولية معينة. يتوجه الراصدون بعد ذلك نحو الشمال أو نحو الجنوب، ويقيسون المسافة المقطوعة. ويتابعون هذه العملية إلى أن يصلوا إلى مكان تكون فيه قيمة φ مساوية لقيمتها الأولية بعد زيادة أو إنقاص درجة واحدة من هذه الأخيرة. عندئذٍ تكون المسافة المقطوعة مساوية لطول درجة على خط الزوال.

---

(٣) انظر: Edward Stewart Kennedy, *A Commentary upon Bīrūnī's Kitāb Taḥdīd al-Amākin: An 11th Century Treatise on Mathematical Geography* (Beirut: American University of Beirut, 1973), pp. 16 - 31.

(٤) انظر: S. H. Barani, «Muslim Researches in Geodesy,» in: *Al-Bīrūnī Commemoration Volume* (Calcutta: Iran Society, 1951), pp. 1 - 52.

يبدو أنه كان من الأفضل، من الناحية التطبيقية، أن يتم اجتياز أية مسافة، على أن تكون أطول مسافة ممكنة، وأن تقسم قيمة هذه المسافة بالفرق $\Delta\varphi$ بين قيمتي φ، فيتم الحصول على طول درجة على خط الزوال. وذلك لأن الحصول على $\Delta\varphi = 1°$ يفترض التوقف عدة مرات متتالية للحصول على هذا الفرق الصحيح المطلوب. وربما كان الرُّصاد يتبعون هذا النهج المعقول.

وهكذا تم الحصول على 56 فرسخاً وثلثي الفرسخ للدرجة الواحدة. وقد استخدمت هذه القيمة، بشكل عام، من قبل الباحثين اللاحقين، كالبيروني(٥) والطوسي(٦) مثلاً. وقد ذكرت قيم أخرى في المصادر التاريخية ولكنها قريبة جداً من هذه القيمة الأصلية. وإذا ضربنا هذه القيمة بـ $360/\pi$ نحصل على قيمة قطر الأرض.

وإذا تساءلنا عن دقة هذه القيمة، نصل إلى مسألة قياس صعبة الحل، وربما كانت غير قابلة للحل. وهي مسألة التحويل بين الوحدات في القرون الوسطى والوحدات الحديثة. وقد درست هذه المسألة درساً كاملاً من قبل نالّينو (Nallino)(٧) الذي استنتج أن 56 فرسخاً وثلثي الفرسخ تساوي 111.8 كلم للدرجة الواحدة، وهذه القيمة قريبة بشكل مدهش من القيمة الصحيحة وهي 111.3 كلم. إنها كذلك بفضل صدفة سعيدة على الأرجح، إذ إن نالّينو قد أعطى قيماً أخرى لتسعة علماء آخرين تتراوح بين 104.7 و133.3. وهذا ما يظهر جودة القيمة المحددة في عهد المأمون.

٣ ـ خطوط الزوال الأساسية

يمكننا أن نقسم الجداول الجغرافية المعروضة أدناه إلى فئتين تبعاً لخط الزوال الصفري (الأولي) الذي تم الاستناد إليه في الجدول. كان بطلميوس (حوالى ١٥٠ سنة قبل الميلاد)،

---

(٥) انظر مثلاً: Abu al-Rayhan Muhammad Ibn Ahmad al-Bīrūnī, *Taḥdīd al-amakin*, édition critique par P. G. Bulgakov (Le Caire: Majallat al-Makhtūtāt al-'Arabiyya, 1962); english translation: *The Determination of the Coordinates of Positions for the Correction of Distances between Cities*, a translation from the arabic of al-Bīrūnī's *Kitāb Taḥdīd al-amākin litashīh masāfāt al-masākin* by Jamil Ali, Contennial Publications/American University of Beirut (Beirut: American University of Beirut, 1967).

(٦) انظر: Edward Stewart Kennedy, «Two Persian Astronomical Treatises by Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī,» *Centaurus*, vol. 27 (1948), p. 115.

(٧) انظر: Carlo Alfonso Nallino, «Il valore metrico del grado di meridiano secondo i geografi arabi,» *Cosmos di Guido Cora*, vol. 11 (1892 - 1893), pp. 20 - 27, reprinted in: Carlo Alfonso Nallino, *Raccolta di scritti editi e inediti*, a cura di Maria Nallino, Publicazione dell' Instituto per l'Oriente, 6 vols. (Roma: Instituto per l'Oriente, 1939 - 1948), vol. 5.

أبو الجغرافيا الرياضية، يقيس الأطوال، باتجاه الشرق، انطلاقاً من «الجزر الخالدات»، أي جزر الكناري كما تسمى اليوم. ولقد تبعه بذلك نصف المصادر الإسلامية. وسنرمز فيما بعد إلى هذه المجموعة من المصادر، بالمجموعة C، طلباً للتسهيل. أما المجموعة الثانية من المصادر الإسلامية التي سنسميها المجموعة A، فقد تبعت الخوارزمي (حوالى سنة ٨٢٠) باختياره خط الزوال الصفري الذي يمر بـ «ساحل بحر المحيط الغربي». وذلك يعني، تبعاً لما ورد في المؤلفات، أن خط الزوال A يوجد على مسافة عشر درجات شرق خط الزوال C[٨].

ونحن لا نعرف جيداً كيف ظهر هذا الانقسام. لقد بين نالّينو[٩] أنه لم يكن في نية الخوارزمي أن يغير نقطة الزوال الصفري. ولكن لسبب ما، قرر علماء فلك المأمون أن العاصمة العباسية بغداد تقع على خط الطول المحدد بـ 70°. غير أنه ينبغي وضع بغداد على الخريطة، وفقاً لجغرافية بطلميوس[١٠]، على خط يقرب طوله من 80°. وهذه القيمة الأخيرة هي المعطاة في أكثر من نصف المصادر الإسلامية. ويجب الربط، على الأرجح، بين هذه الواقعة والفكرة، التي سنعرضها لاحقاً، والتي تقول إن «قبة الأرض»، كما يتصورها الشرقيون، توجد على طول $13\frac{1}{2}^{\circ}$ شرق «قبة الأرض»، كما تصورها بطلميوس. وذلك أن $13\frac{1}{2}^{\circ}$ ليست مختلفة كثيراً عن 10°. وقد أعطى البيروني بوضوح فرقاً مساوياً لعشر درجات[١١].

لقد أصلح الخوارزمي بمقدار عشر درجات، القيمة المبالغ فيها التي أعطاها بطلميوس لطول البحر الأبيض المتوسط. ولكن لا علاقة لهذه القضية بمسألة خط الزوال الأساسي.

وعلى كل حال، فإن وجود الفئتين A وC أمر واقع. وإن الفرق بين طولي نفس المدينة في جداول المجموعتين يقترب بالضبط من عشر درجات. بالإضافة إلى ذلك، لقد حسبنا

---

(٨) Al-Bīrūnī, *Taḥdīd al-amākin*, p. 121.

(٩) انظر: Carlo Alfonso Nallino, «Al-Khwārizmī e il suo rifacimento della Geografia di Tolemeo,» *Mem. d. R. Accad. dei Lincei*, ser. 5, vol. 2, part 1,

أعيد طبعه في: Nallino, *Raccolta di scritti editi e inediti*, vol. 5, p. 490.

(١٠) Claudius Ptolemaues, *L'Almageste*: édition du texte grec par J. L. Heiberg (Leipzig: Teubner, 1898 - 1903); traduction française par N. Halma (Paris: [s. n.], 1813 - 1816), réimprimé (Paris: Hermann, 1927); traduction anglaise: Ptolemy, *Ptolemy's Almagest*, translated and annotated by G. J. Toomer (New York: Springer - Verlag, 1984), et édition et traduction allemande de deux versions arabes du catalogue d'étoiles: Claudius Ptolemäus, *Der Sternkatalog des Almagest, Die Arabisch - mittelalterliche Tradition, I, Die Arabischen Übersetzungen*, édition et traduction de Paul Kunitzsch (Wiesbaden: Otto Harrassowitz, 1986).

(١١) انظر: Al-Bīrūnī, *Taḥdīd al-amākin*, pp. 120 - 121.

الفرق المتوسط بين الأطوال في القرون الوسطى والأطوال الحديثة للأمكنة التي نعرف أطوالها الحديثة (حسب خط غرينتش)، فوجدنا أن التباعد ضخم بين القيم الوسطى الخاصة بكل مصدر مأخوذ على حدة. ولكن القيم الوسطى في المجموعة A تتجمع حول 24°، أما في المجموعة C فهي قريبة من 34°[١٢].

وهناك مصدر ثالث يعطي الأطوال مقاسة انطلاقاً من خط زوال أساسي ثالث. فقد أثبت الحمداني (المتوفى سنة ٩٤٦م)[١٣] أن «أهل المشرق»، الهنود والذين جروا على تقليدهم، كانوا يقيسون الأطوال باتجاه الغرب انطلاقاً من الساحل الشرقي للصين. وكان من المسلم به عامة أن القسم المسكون من الأرض هو سطح نصف الكرة المحدد بدائرة كبرى تمر بالقطبين. أما المركز الجغرافي لهذا القسم المسكون والمسمى «قبة الأرض»، فهو نقطة موجودة على خط الاستواء. وهذه النقطة هي قطب الدائرة الحدية لنصف الكرة المسكونة. ويقول الحمداني إن أهل المشرق يضعون موقع «قبة الأرض» على 90° غرب خط الزوال الأساسي. والمفروض، بلا شك، أن هذه القبة موجودة، كما يشير إلى ذلك كتاب السندهند (أو السيدهنتا حسب اللغة السنسكريتية)، على خط الزوال الذي يمر بمدينة أُزّين (Uzain) التي لعبت دور «غرينتش» بالنسبة إلى علم الفلك عند الهنود الأقدمين. ولكن هذا الاسم قد حُرّف في المصادر العربية، إذ أهملت النقطة على الحرف ز، فأصبح «أُرِّين». وهكذا وردت تلك القبة تحت اسم «قبة أرِّين». وقد قرر الحمداني أن قبة بطلميوس تقع، باحتمال كبير، على 90° شرق خط زوال بطلميوس الأساسي. وبذلك لا تتطابق القبتان، بل إن القبة الهندية تقع على 13° ونصف الدرجة شرق قبة بطلميوس. لنرمز إلى الأطوال المقاسة باتجاه الشرق بـ λ_E، وإلى تلك المقاسة باتجاه الغرب بـ λ_W. عندئذ تكون معنا العلاقة التالية بين الطول الهندي وطول بطلميوس الخاصين بمكان معين:

$$\lambda_E + \lambda_W = 90° + 13\frac{1°}{2} + 90° \doteq 193\frac{1°}{2}$$

أعطى الحمداني الإحداثيات الهندية لاثنتين وعشرين مدينة، منها القدس ودمشق، ويقع أغلبها في شبه الجزيرة العربية. لقد وردت في هذه المجموعة أسماء ثلاث مدن لم ترد في الجداول الأخرى، لأسماء الأمكنة وإحداثياتها، التي ألفها المسلمون. ولكن أطوال تسع مدن من بين المدن التسع عشرة الباقية تحقق العلاقة السابقة أعلاه باختلاف لا يزيد عن الدرجة الواحدة، وذلك في أكبر عدد من مصادر المجموعة C (أي مجموعة بطلميوس).

---

(١٢) انظر: Edward Stewart Kennedy and M. H. Regier, «Prime Meridians in Medieval Islamic Astronomy,» *Vistas in Astronomy,* vol. 28 (1985), pp. 29 - 32.

(١٣) انظر: D. H. Müller, *Al-Hamdānī's Geographie der Arabischen Halbinsel* (Leiden: [n. pb.], 1884), pp. 27 and 45.

وقد تكلم هونيغمان (Honigmann)(١٤) عن «نظام فارسي» تقاس فيه الأطوال باتجاه الغرب انطلاقاً من خط زوال أولي يمر بشرق آسيا الأقصى. وهو يشير بذلك، دون شك، إلى «خط زوال الشرقيين» الذي ذكره الحمداني. وذلك أن الحمداني ينسب بعض الإحداثيات إلى الفزاري (حوالى سنة ٧٦٠م) وبعضها الآخر إلى حبش الحاسب (حوالى سنة ٨٥٠م). وقد تأثر هذان الرجلان بعلم فلك إيران الساسانية، بنفس قدر تأثرهما بعلم فلك الهند.

أما البيروني(١٥)، فقد فرض أن خط الزوال الأساسي هو ذلك الذي يمر في القبة نفسها، وذلك في مجموعة صغيرة من الجداول أصبحت مفقودة.

ويوجد مصدر، ضمن (MS Utr. Or. 23 de Leyde)، ينفرد بقياس الأطوال انطلاقاً من مدينة البصرة التي هي دون شك مدينة المؤلف المجهول. ولكن هذا الأخير كتب في رأس العمود المخصص للأطوال، عبارة «الاختلاف في الأطوال»، بدلاً من «الأطوال» كما هي العادة. وهذا ما يدل على أنه لم يعتبر خط زوال البصرة كخط أساسي للزوال.

٤ ـ تحديد الأطوال

إن تحديد طول مكان معين، بعد أن يتم اختيار خط الزوال الأساسي، يؤول إلى تحديد الفرق بين طول هذا المكان وطول معروف لمكان آخر. إن تحديد الطول أسهل نظرياً من تحديد العرض. وذلك بفضل دوران الأرض التي تدور بزاوية قدرها 360° في مدة ٢٤ ساعة. وهذا ما يجعل الفرق في الطول لمكانين معينين متناسباً مع الفرق بين الوقتين المحليين المتوسطين للمكانين.

ولكننا بحاجة، من الناحية العملية، إلى إشارة زمنية صالحة في المكانين في آن واحد. وهذه القضية لم تكن سهلة الحل، من دون الراديو، في القرون الوسطى.

يمكن لكسوف القمر أن يعطي مثل هذه الإشارة، لأن أوجه القمر تظهر متشابهة في كل نقطة من الأرض يُرى منها القمر. لنفرض وجود راصدين في مكانين تمكن منهما رؤية القمر. يمكن لكل منهما أن يحدد الأوقات المحلية لبداية الكسوف ولنهايته وللتغطية القصوى أو الكاملة للقمر. ولقد تحدث البيروني(١٦) عن مثيلة لهذه العملية المزدوجة للرصد، جرت بينه وبين أبي الوفاء البوزجاني الذي كان موجوداً في بغداد، في حين كان

(١٤) انظر: Ernst Honigmann, *Die sieben Klimata* (Heidelberg: C. Winter's Universitätsbuchhandlung, 1929), pp. 132 - 155.

(١٥) انظر: Kennedy, *A Commentary upon Bīrūnī's Kitāb Taḥdīd al-Amākin: An 11th Century Treatise on Mathematical Geography*, p. 126.

(١٦) المصدر نفسه، ص ١٦٤.

هو في كاث (Kâth) (في آسيا الوسطى). غير أن هناك صعوبة ناتجة عن عدم إمكانية التمييز بوضوح بين أوجه القمر في حالة الكسوف، خلافاً لما يحدث في حالة كسوف الشمس.

وقد استفاد البيروني أيضاً إلى حد بعيد، في كتابه **التحديد**(١٧)، من طريقة جيوديزية لحساب الفروق في الأطوال. لنفرض أننا نعرف عرض كل من مكانين ونعرف المسافة الفاصلة بينهما على الدائرة الكبيرة. يمر في كل من النقطتين خط طول وخط عرض. تتقاطع هذه الدوائر الأربعة في أربع نقط تشكل مربعاً منحرفاً متساوي الساقين. يطبق البيروني على المربع المنحرف مبرهنة لبطلميوس تخص المربعات المنحرفة القابلة الارتسام على دائرة. فيستخلص العبارة التالية المدهشة(١٨):

$$\Delta\lambda = \text{arc crd} \sqrt{\frac{\text{crd}^2\ AB - \text{crd}^2\ \Delta\phi}{\cos\phi A \,.\, \cos\phi B}}\ ,$$

حيث تدل Δ على الفرق، وتدل λ على الطول الأرضي. أما $\text{crd}\ \theta$ فتمثل طول وتر على الدائرة الواحدية، مقابل للزاوية المركزية θ، بينما تدلّ النقطتان A وB على المكانين المقصودين بالدراسة.

لقد حصل البيروني على قيم تقريبية للمسافات على الدائرة الكبيرة بعد ضرب كل طول من أطوال طرق القوافل المقدرة بالفراسخ، بمعامل مناسب ترتبط قيمته بدرجة صعوبة الطريق وبدرجة تعرجها. بعد ذلك حسب البيروني النتيجة بالأميال والدرجات. أما قيمة الفرق في الطول $\Delta\lambda$ بين بغداد وغزنة (الواقعة في أفغانستان الحالية)، عاصمة أستاذه، فقد حصل البيروني عليها بتطبيق صيغته المذكورة أعلاه عدة مرات. وذلك بين محطات الترحيل المارة بري وجورجانيا وبلخ. وبما أنه شك، بحق، بالنتيجة الحاصلة، فقد أجرى حسابات إضافية على طريق تمر، جنوب الطريق الأولى، بشيراز وزرنج. ثم أعاد الحسابات على طريق أخرى تمر ببوست. بعد ذلك أخذ المعدل الحسابي للنتائج الثلاث الحاصلة. إن الخطأ في النتيجة النهائية، ومقدارها 24 درجة، يساوي حوالى ثلث الدرجة. لذلك فهي نتيجة جيدة إذا أخذنا بعين الاعتبار القيم التقريبية للمعطيات الأولية.

نحن لا نعلم بوجود عالم جغرافي تبنى هذه الطريقة التي ابتكرها البيروني. لقد عرض الكاشي(١٩) طريقة جيوديزية بعيدة كل البعد عن الدقة. إن قيم الأطوال التي وردت في النصوص، هي بشكل إجمالي أقل دقة بكثير من قيم العروض.

---

(١٧) انظر: المصدر نفسه، و Al-Bīrūnī, *Taḥdīd al-amākin.*

(١٨) Kennedy, Ibid., p. 152.

(١٩) انظر: Edward Stewart Kennedy, «Spherical Astronomy in Kāshī's Khāqānī Zīj,» *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften,* Bd. 2 (1985), pp. 1 - 46.

٥ ـ الجداول الجغرافية

تظهر مجموعة الجداول بأسماء الأمكنة وأطوالها وعروضها، أهمية وغزارة المعارف الجغرافية التي كانت متداولة في العالم الإسلامي خلال القرون الوسطى. ويمكن قسمة المصادر الخاصة بها إلى ثلاث فئات:

أ ـ الأزياج، وهي موجزات فلكية مخطوطة، أكثرها غير منشور، تحوي جداول جغرافية. وتسمح هذه الأخيرة لمن يستخدمها بجعل الأرصاد المنجزة في مكان ما، متلائمة مع الأرصاد المنجزة في أي مكان آخر واردٍ في الجدول.

ب ـ مجموعات المعلومات اللازمة لوضع الخرائط.

ج ـ أعمال جغرافية أكثر شمولية تتضمن إحداثيات الأماكن.

وقد تم حتى اليوم تسجيل معطيات أربعة وسبعين مصدراً على الآلات الحاسبة الإلكترونية. ويمكن لهذا العدد أن يزيد. وتختلف هذه المصادر في أحجامها، إذ يتراوح عدد الأمكنة المذكورة فيها من اثنين فقط الى أكثر من ستمئة مكان. وأغلب المدن التي تتضمنها هذه الجداول يقع في حوض البحر الأبيض المتوسط والشرق الأدنى وآسيا الوسطى. ويقع بعضها في أماكن متناثرة من أوروبا، وفي شمال إسبانيا وفي الهند والصين. ولقد نشرت هذه المجموعة سنة ١٩٨٧[٢٠].

ويمكن إثبات ترابط بعض مجموعات من هذه المصادر فيما بينها. ولكن لا نجد فيها مصدرين متطابقين. ومن ناحية أخرى، لا يوجد مصدر مستقل تماماً عن المصادر الأخرى.

ثانياً: الخرائطية

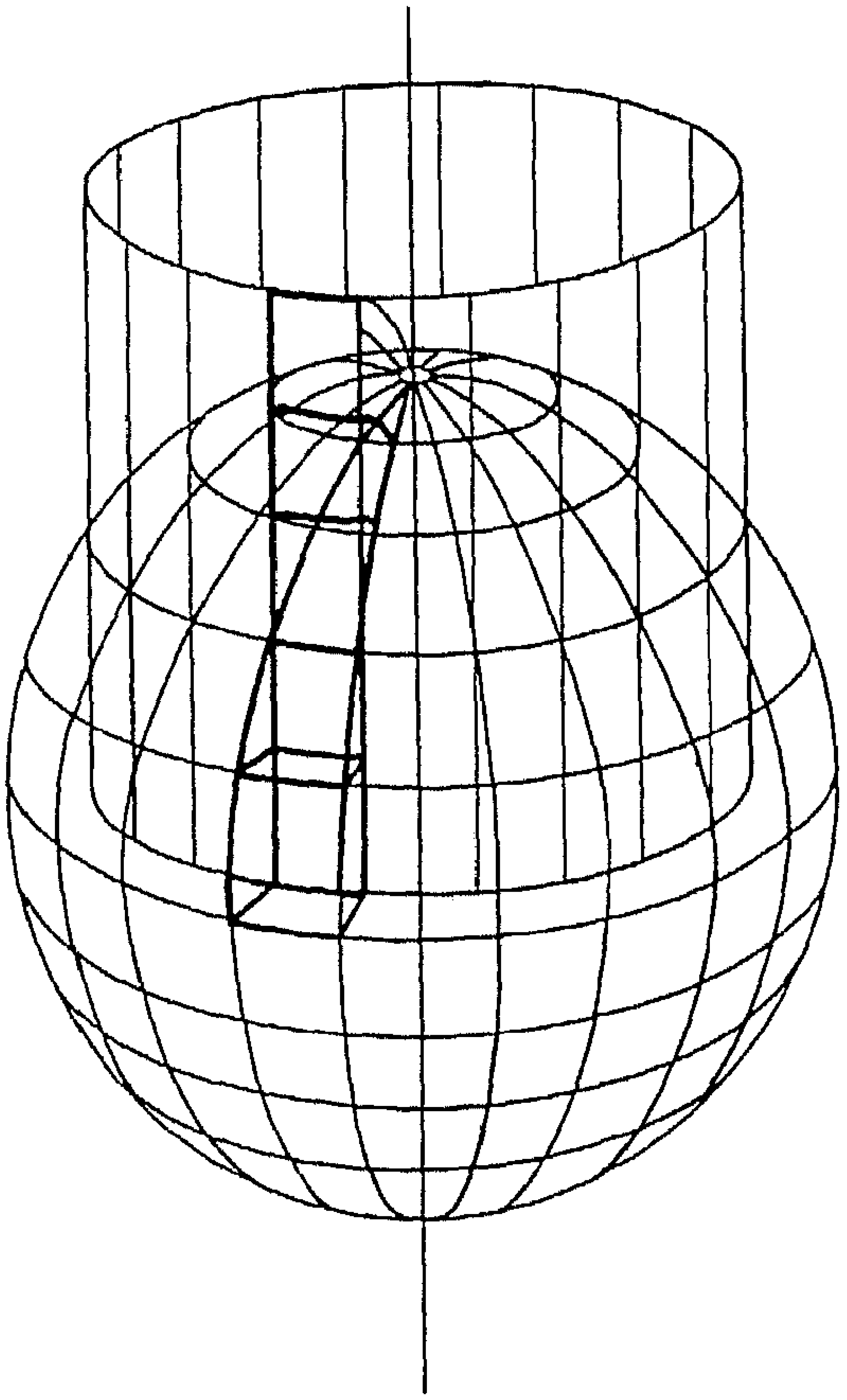
١ ـ الإرث الهلينستي

إن أول واضع خرائط أثر على العالم الإسلامي هو مارينوس الصوري (Marinus de Tyr) (حوالى ١٠٠ سنة بعد الميلاد). يتكون نظام الإحداثيات في خريطة مارينوس للعالم من جماعتين من الخطوط المتوازية المتعامدة فيما بينها. وبما أن الكرة لا تتطابق مع مستوٍ، فكل خريطة لقسم من الأرض تتضمن إلتواءات. ولواضع الخرائط الخيار بين تمثيل مطابق (يحتفظ بالزوايا كما هي في الأصل) وبين تمثيل يحتفظ بالمساحات، أو بين تمثيل يحتفظ ببعض المسافات. ولكنه لا يستطيع الاحتفاظ بكل الوسائط. وقد احتفظ مارينوس في

---

(٢٠) انظر: Edward Stewart Kennedy and M. H. Kennedy, *Geographical Coordinates of Localities from Islamic Sources* (Frankfurt, A.M.: Institut für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften, 1987).

خريطته بالمسافات على طول كل خط من خطوط الزوال وعلى طول خط العرض المار برودس ($\varphi = 36°$)[٢١]. وبما أن أطوال خطوط العرض تتناقص عندما تتزايد φ، فإن المسافات على خطوط العرض، في خريطة مارينوس، تتمدد شمال رودس وتتقلص جنوبها.



الشكل رقم (٦ ـ ٢)

نظام الاحداثيات في خريطة مارينوس.

أما بطلميوس فقد استخدم نوعين من الخرائط تتقارب فيها خطوط الزوال، بخلاف خطوط مارينوس للزوال التي هي متوازية ومرسومة على شكل أسطواني:

(٢١) انظر: Otto Neugebauer, «Mathematical Methods in Ancient Astronomy,» *Bulletin of the American Mathematical Society*, vol. 54 (1948), pp. 1037 - 1039.

يُحتفظ، في النوع الأول لخرائط بطلميوس، بالمسافات على طول كل خط من خطوط الزوال. وهذا ما يعطي جماعة من الخطوط المستقيمة المتقاطعة. أما خطوط العرض فهي دوائر متحدة المراكز متعامدة على خطوط الطول التي تمر بالتالي بالمركز المشترك. ويتم اختيار النقطة الأخيرة بحيث: (١) تحفظ المسافات على طول خط العرض المار برودس، (٢) تحفظ نسبة المسافات على طول خط العرض المار بتولة (Thulé) ($\varphi = 63°$)، وعلى طول خط الاستواء ($\varphi = 0°$).

يتخذ بطلميوس، في النوع الثاني لخرائطه، الدوائر المتحدة المراكز كخطوط للعرض، ويختار من بينها الدوائر الثلاث ذات العروض بالدرجات: 63° و23;50°، و16;25°–، لتحفظ عليها المسافات. نتيجة لذلك لا يمكن لخطوط الطول أن تبقى خطوطاً مستقيمة، بل تصبح جماعة من الدوائر. وتحدد كل دائرة من هذه الدوائر بثلاث نقط يكون لها نفس الطول، وتقع على دوائر العرض الثلاث المذكورة أعلاه. وهكذا يحدث إفساد بسيط لحفظ المسافات على طول خطوط الزوال.

نلاحظ تطوراً تدريجياً في هذه الأنواع الثلاثة. ففي النوع الأول تكون جماعتا خطوط الإحداثيات مستقيمة ومتعامدة. أما في النوع الثاني، فإن إحدى جماعتي خطوط الإحداثيات دائرية. بينما تكون الجماعتان دائريتين، في النوع الثالث.

إن وجود خريطة العالم لبطلميوس، بشكل أو بآخر، تحت تصرف الجغرافيين في الإمبراطورية العباسية، شبه أكيد. فالمسعودي(٢٢) يدعي أنه شاهد عدة نسخات منها، وأن خريطة المأمون (الصورة المأمونية) قد فاقت بامتياز هذه النسخات. غير أننا لا نعرف بوجود نسخة غير مفقودة لخريطة العالم لبطلميوس مؤرخة في عهد العباسيين. وأقدم نسخات كتاب الجغرافيا الموجودة اليوم، قد وضعت في القسطنطينية خلال القرنين الثالث عشر والرابع عشر للميلاد. وقد أنجزت ترجمات عربية لها بأمر من السلطان محمد الثاني. توجد إحدى هذه الترجمات ضمن مخطوطة «آيا صوفيا» (Aya Sofia) ذات الرقم ٢٦١٠ في اسطنبول. وقد أخذت من خريطة العالم الموجودة فيها صورة طبق الأصل(٢٣). أما

(٢٢) انظر: Al-Mas'ūdī: *Murūj al-Dhahab (Les Prairies d'or)*, édité et traduit par C. Barbier de Meynard et Pavet de Courteille, collection d'ouvrages orientaux publiée par la société asiatique, 9 vols. (Paris: Imprimerie impériale, 1861 - 1917; 1861 - 1930), vol. 1, p. 183, et *Kitāb al-tanbīh wa'l-ishrāf*, édidit M. J. de Goeje (Lugduni - Batavorum: E. J. Brill, 1894), réimprimé (Beyrouth: Khayat, 1965); traduction française: *Le Livre de l'avertissement et de la révision*, traduit par Carra de Vaux (Paris: Imprimerie nationale, 1896), p. 33.

(٢٣) انظر: Josef Fischer, *Claudii Ptolemæi Geographiæ Codex Urbinus Græcus 82*, 3 vols. (Leiden: E. J. Brill, 1932), et «Kharīta,» dans: *Encyclopédie de l'Islam*.

المخطوطة الكاملة فقد نشرت منها صورة طبق الأصل (القاهرة؟) سنة ١٩٢٩[٢٤]. غير أن الكتاب لا يحوي أية إشارة تدل على مصدره أو على تاريخ نشره.

كل هذا متأخر جداً عن عهد العباسيين. وما زالت مسألة ما أمكن وصوله من إرث بطلميوس الجغرافي إلى العباسيين موضوع نقاش. غير أن مزيك (Mžik)[٢٥] يعتقد أن الجغرافيين في العهد العباسي قد استخدموا، على الأرجح، نسخة سريانية من الجغرافيا. وربما لم تحو هذه النسخة أية خريطة للعالم. ويظن روسكا (Ruska)[٢٦]، من ناحية أخرى، أنهم قد تمكنوا من العمل مباشرة انطلاقاً من النسخة اليونانية.

٢ ـ خريطة المأمون

لقد استقدم الخليفة المأمون خلال فترة حكمه (٨١٣ ـ ٨٣٣م) علماء بارزين إلى «بيت الحكمة»، وهذا ما هو معروف جيداً. إن إحدى ثمرات التعاون بين هؤلاء العلماء هي تمثيل العالم المعروف في ذلك الزمن، ويعد هذا التمثيل تحسيناً من عدة وجوه لذلك الذي قدمه بطلميوس[٢٧]. غير أن كل ما وصلنا يقتصر على خريطة جغرافية للخوارزمي[٢٨] وعلى ثلاث خرائط إقليمية. ولم يعثر على أية نسخة من الخريطة الرئيسة. ويؤكد المسعودي[٢٩] أن الحدود بين المناخات مستقيمة في تلك الخريطة. وبما أن هذه الحدود خطوط عرض، يمكن التكهن بأن الإسقاط المستخدم كان من النوع الذي اتخذه مارينوس.

ويصبح هذا الحدس شبه مؤكد إذا أخذنا بعين الاعتبار جدول شهراب (حوالى سنة ٩٣٠م) الجغرافي الذي يشبه كثيراً جدول الخوارزمي. يعطي شهراب[٣٠]، في مقدمة

---

(٢٤) انظر: Leo Bagrow, «A Tale from the Bosphorus: Some Impressions from My Work at the Topkapu Saray Library, Summer 1954,» *Imago Mundi,* vol. 12 (1955), p. 27, note at the bottom of the page.

(٢٥) انظر: Hans von Mžik, «Ptolemaeus und die Karten der Arabischen Geographen,» *Mitt. d. K. K. geog. Ges. Wien,* Bd. 58 (1915), pp. 152 - 175.

(٢٦) انظر: Julius Ruska, «Neue Bausteine zur Geschichte der Arabischen Geographie,» *Geographische Zeitschrift,* Bd. 24 (1918), pp. 77 -78.

(٢٧) انظر: Nallino, *Raccolta di scritti editi e inediti,* vol. 5.

(٢٨) انظر: Muḥammad Ibn Mūsā al-Khuwārizmī, *Das Kitāb Sūrat al-Ard des Abū Ga'far Muḥammad Ibn Mūsā al-Huwārizmī,* éd. Hans von Mžik, Bibliothek Arabischer Historiker und Geographen; 3 Bd. (Leipzig: Otto Harrassowitz, 1926).

(٢٩) انظر: Al-Mas'ūdī, *Kitāb al-tanbīh wa'l-ishrāf,* p. 44.

(٣٠) انظر: Suhrāb, *Das Kitāb 'agā'ib al-akālīm as-sab'a des Suhrāb,* herausgegeben nach dem handschriftlichen Unikum des Britischen Museums in London/ cod. 23379 add., von Hans v. Mžik, Bibliothek Arabischer Historiker und Geographen, Bd, 5 (Leipzig: Otto Harrassowitz, 1930).

كتابه، توجيهات مهمة لطريقة رسم شبكة الإحداثيات التي يجب وضع الأماكن عليها. فيجب أن تتضمن هذه الشبكة جماعتين من الخطوط المتوازية المتعامدة فيما بينها والمشكلة لمربعات. فتحفظ المسافات على طول خط الاستواء وعلى طول كل خط من خطوط الزوال. وهذا ما يسبب تمدد المسافات باتجاه موازٍ لخط الاستواء في المنطقة المعتدلة. لذلك تكون هذه الخريطة أقل جودة من خريطة مارينوس.

٣ ـ أطلس الإسلام

قامت مجموعة من الجغرافيين في القرن العاشر بكتابة مؤلفات لها سمات مشتركة كثيرة فسميت **أطلس الإسلام**[٣١]. نذكر من هؤلاء الكتاب البلخي والاصطخري والمقدسي. وقد تضمن كل كتاب من هذه الكتب مجموعة نموذجية من عشرين خريطة. والخريطة الأولى في هذه المجموعة هي خريطة العالم. ولكن هذه الخرائط مبسطة إلى درجة كبيرة حتى انها أصبحت، على حد تعبير كرايمرز (Kramers)، خرائط كاريكاتيرية.

٤ ـ مساهمة البيروني

لقد ألف البيروني، الذي كان رياضياً كبيراً وعلامة في آسيا الوسطى، كتاباً صغيراً في علم خرائط الكرة الأرضية، وذلك في أوائل حياته العلمية (حوالى سنة ١٠٠٥م)[٣٢]. وقد ظهرت ترجمة حديثة لهذا الكتاب[٣٣] تتضمن شرحاً وفهرسة للأعمال والنشرات السابقة، إضافة إلى نسخة طبق الأصل عن مخطوطة ليدن (Leyde). وقد عرض البيروني في هذا الكتاب ثماني طرق للإسقاطات الخرائطية. سنعرض أدناه ثلاث طرق منها. يبدو أنه قد ابتكر الطريقتين الأولى والثالثة. أما الطريقة الثانية فقد تكون سابقة له. وسنسمي هذه الطرق بالأسماء الحديثة التي أطلقت عليها.

أ ـ طريقة «التساوي المزدوج للأبعاد»

تنص هذه الطريقة في أول الأمر على اختيار نقطتين ثابتتين A وB على الكرة. ونرسم بعد ذلك، في وسط الورقة التي نريد أن نخرج الخريطة عليها، الخط المستقيم A′ B′ بحيث

(٣١) انظر: J. H. Kramers, «La Question Balḫī - Iṣṭahrī- Ibn Ḥawqal et l'Atlas de l'Islam,» *Acta Orientalia*, vol. 10 (1932), pp. 9 - 30.

(٣٢) انظر: Lutz Richter - Bernburg, «Al-Bīrūnī's *Maqāla fī tasṭīḥ al-ṣuwar wa tabṭīkh al-Kuwar:* A Translation of the Preface with Notes and Commentary,» *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 6 (1982), pp. 113 - 122.

(٣٣) انظر: J. L. Berggren, «Al-Bīrūnī on Plane Maps of the Sphere,» *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 6, nos. 1 - 2 (1982), pp. 47 - 96.

يكون طوله مساوياً لطول قوس الدائرة الكبرى AB على الكرة، وذلك وفقاً لسلم مناسب. عندئذ، إذا أخذنا نقطة اختيارية P على الكرة، نختار النقطة P′ المقابلة لها على الخريطة بحيث:

- يكون طول الخط A′ P′ مساوياً لطول قوس الدائرة الكبرى AP؛

- يكون طول الخط B′ P′ مساوياً لطول قوس الدائرة الكبرى BP. بالإضافة إلى ذلك، توضع النقطة P′ بحيث يكون اتجاه المثلث A′ B′ P′ مطابقاً لاتجاه المثلث ABC. لقد عرضت هذه الطريقة في العصر الحديث، ولكننا لا نعرف لها تطبيقاً حديثاً ولا حتى في القرون الوسطى(٣٤).

ب ـ طريقة «التساوي في البعد السمتي»

إن هذه الطريقة سهلة الوصف كالطريقة السابقة. لنأخذ نقطة معينة A على الكرة واتجاهاً صفرياً انطلاقاً من هذه النقطة. لنأخذ عندئذ النقطة A′، في وسط الخريطة، كصورة للنقطة A. ولنحدد الاتجاهات على الخريطة بواسطة محور يمر بالنقطة A′. إذا كانت P نقطة اختيارية على الكرة، تكون صورتها P′ على طرف الخط المقطوع A′ P′ الذي يساوي طوله طول قوس الدائرة الكبرى AP. وتكون زاوية السمت لـ A′ P′، بالنسبة إلى المحور المعطى، مساوية لزاوية السمت لـ AP على الكرة. ولقد وصف البيروني هذه العملية مستخدماً اصطلاحات ميكانيكية كما يلي. إذا جعلنا الكرة تتدحرج دون انزلاق فوق الخارطة انطلاقاً من نقطة المماس A′، وفي اتجاه P إلى أن تصبح P نقطة المماس، نحصل عندئذ على النقطة P′.

لقد استخدم علي بن أحمد الشرفي، في صفاقس سنة ١٥٧١م، هذه الطريقة ليرسم، بشكل بسيط وحدسي دون شك، خريطة العالم(٣٥). وكان دون شك على غير علم بكتاب البيروني، كما كان كذلك بوستل (Postel) الذي طبق هذه الطريقة في أوروبا سنة ١٥٨١م(٣٦).

---

(٣٤) انظر: Charles Henry Deetz and Oscar S. Adams, *Elements of Map Projection with Applications to Map and Chart Construction*, U. S. Coast and Geodetic Survey, Special Publication no. 68, 5th ed. (Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1945), reprinted (New York: Greenwood, 1969), p. 176.

(٣٥) انظر: William C. Brice, ed., *An Historical Atlas of Islam* (Leiden: E. J. Brill, 1981), p. vi, and Carlo Alfonso Nallino, «Un mappamundo arabo disegnato nel 1579 da 'Alī Ibn Aḥmad al-Sharafī di Sfax,» *Bolletino della Reale Società Geografica Italiana*, vol. 5, no. 5 (1916), pp. 721 - 736, réimprimé dans: Nallino, *Raccolta di scritti editi e inediti*, vol. 5, pp. 533 - 548.

(٣٦) انظر: Deetz and Adams, Ibid., p. 175.

إن طريقة التساوي في البعد السمتي مستخدمة بشكل عادي في هذه الأيام.

ج ـ طريقة «النظام الكروي»

يتم في هذه الطريقة إسقاط نصف الكرة على سطح دائرة. لنأخذ قطرين EW وNS متقاطعين في النقطة O ومتعامدين. وهكذا تنقسم الدائرة إلى أربعة أرباع. لنفرض أن القطر EOW هو صورة نصف خط الاستواء الذي يكون فيه الطول مساوياً للصفر في النقطة E، ولـ 90° في النقطة O، ولـ 180° في النقطة W. لنقسم خطوط الأشعة الأربعة وأرباع المحيط إلى عدد مناسب من الأجزاء المتساوية. ليكن عدد الأجزاء مساوياً لتسعين جزءاً فيكون الجزء مساوياً لدرجة واحدة. لنرقم الأقسام نحو الأعلى ونحو الأسفل، انطلاقاً من E وO وW، بحيث يكون ارتفاع القطب الشمالي N مساوياً لـ 90°، ويكون ارتفاع القطب الجنوبي S مساوياً لـ 90°- . وهكذا تتكون شبكة الإحداثيات من جماعتين من الأقواس الدائرية. أما مسقط خط الزوال الذي طوله λ، فهو قوس الدائرة الوحيدة التي تمر بالنقطتين N و S وبالنقطة المحددة بالطول λ على الخط EW. ومسقط خط العرض المحدد بالزاوية φ هو قوس الدائرة التي تمر بالنقط الثلاث المحددة بالزاوية φ والواقعة على كل من الأقواس NES وNOS وNWS.

لقد سُرّ البيروني، بشكل ظاهر، بهذا البنيان لأنه استنتج منه عبارات لحساب أشعة الأقواس الإحداثية ولتحديد مواقع مراكزها. وكان من حقه أن يكون كذلك لأن الالتواء قليل في القسم المركزي من الخارطة، والمسافات الشعاعية محفوظة جيداً حول هذا القسم. أما المنطقة التي يحدث فيها التمدد الأكبر فتقع على الأطراف. وبما أن هذا الإسقاط يشبه الإسقاط التجسيمي الذي سنعرضه أدناه، فإنه يكاد يكون تمثيلاً مطابقاً.

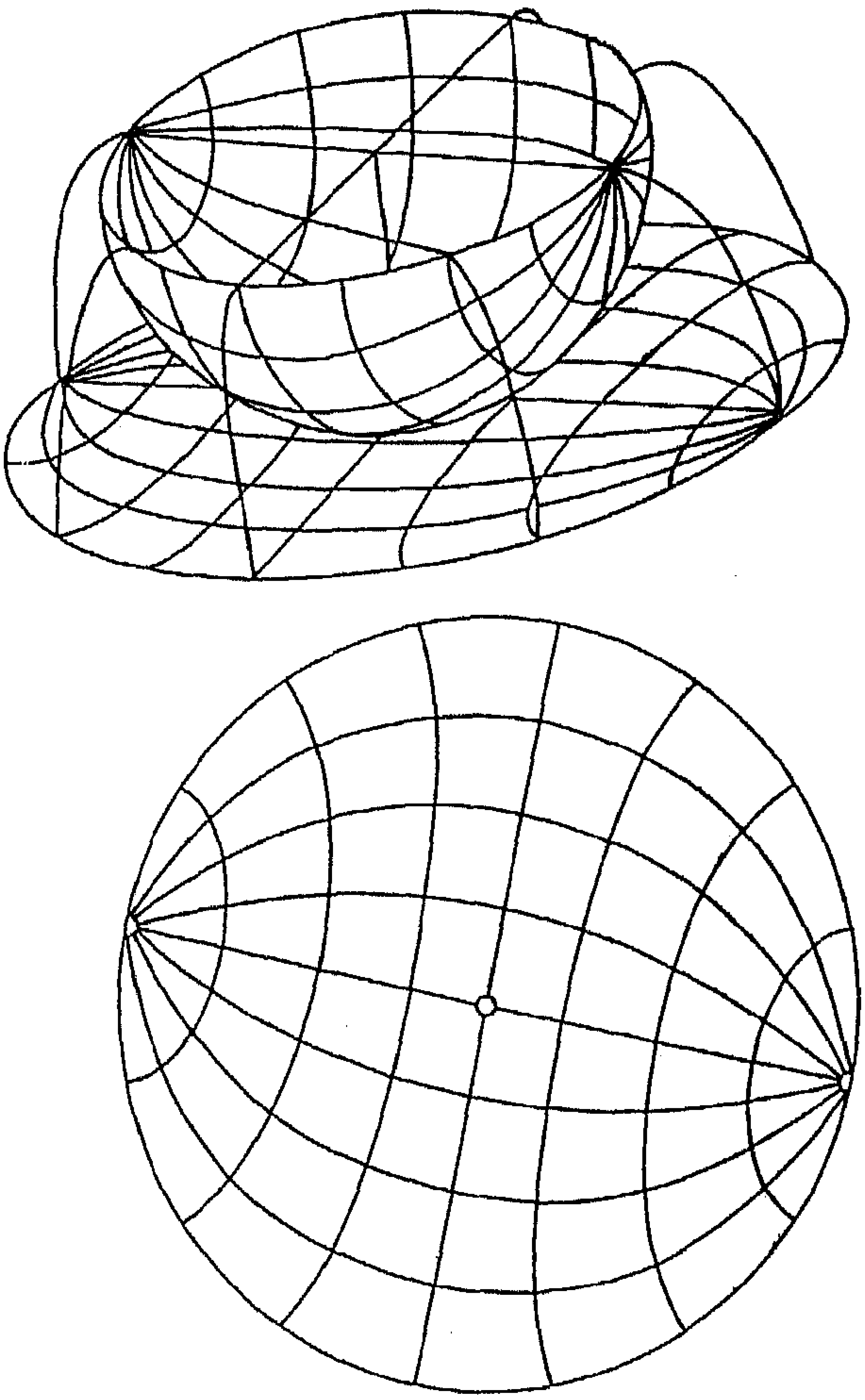
قد يتساءل المرء كيف توصل البيروني إلى التفكير بهذا النظام. حسب رأي برغرن (Berggren)[٣٧]، ما هذا النظام إلا توسيع للنظام الثاني لبطلميوس ليشمل نصف الكرة بكاملها، وذلك نظراً لأن شبكة الإحداثيات مؤلفة من أقواس دائرية مقسمة بانتظام.

قد يكون البيروني غير مطلع على خرائط بطلميوس. وهذا ما يزيد في احتمال كون هذا النظام كثير القرب من طريقة التساوي في البعد السمتي التي تتخذ إحدى نقط خط الاستواء كمركزٍ والتي تمثل نصف كرة واحداً. وفي هذه الحالة الخاصة تسقط خطوط الزوال على خطوط منتظمة متناظرة يمر كل واحد منها بالقطبين وبإحدى التداريج المتباعدة بانتظام على المسقط المستقيم لخط الاستواء. أما مساقط خطوط العرض فهي منتظمة، يمر كل واحد منها بنقطتي الدائرة وبنقطة القطر العمودي حيث تكون قيمة φ معينة. هذه الخطوط ليست دوائر، ولكنها قريبة من الدوائر. وقد رسمها البيروني كما هي.

---

(٣٧) انظر: Berggren, «Al-Bīrūnī on Plane Maps of the Sphere,» pp.47-96.

والمرجع[٣٨] يمثل شبكة إحداثيات التساوي في البعد السمتي وشبكة الإسقاط الكروي فوق بعضهما. وهذا ما يظهر أنهما متقاربتان كثيراً.



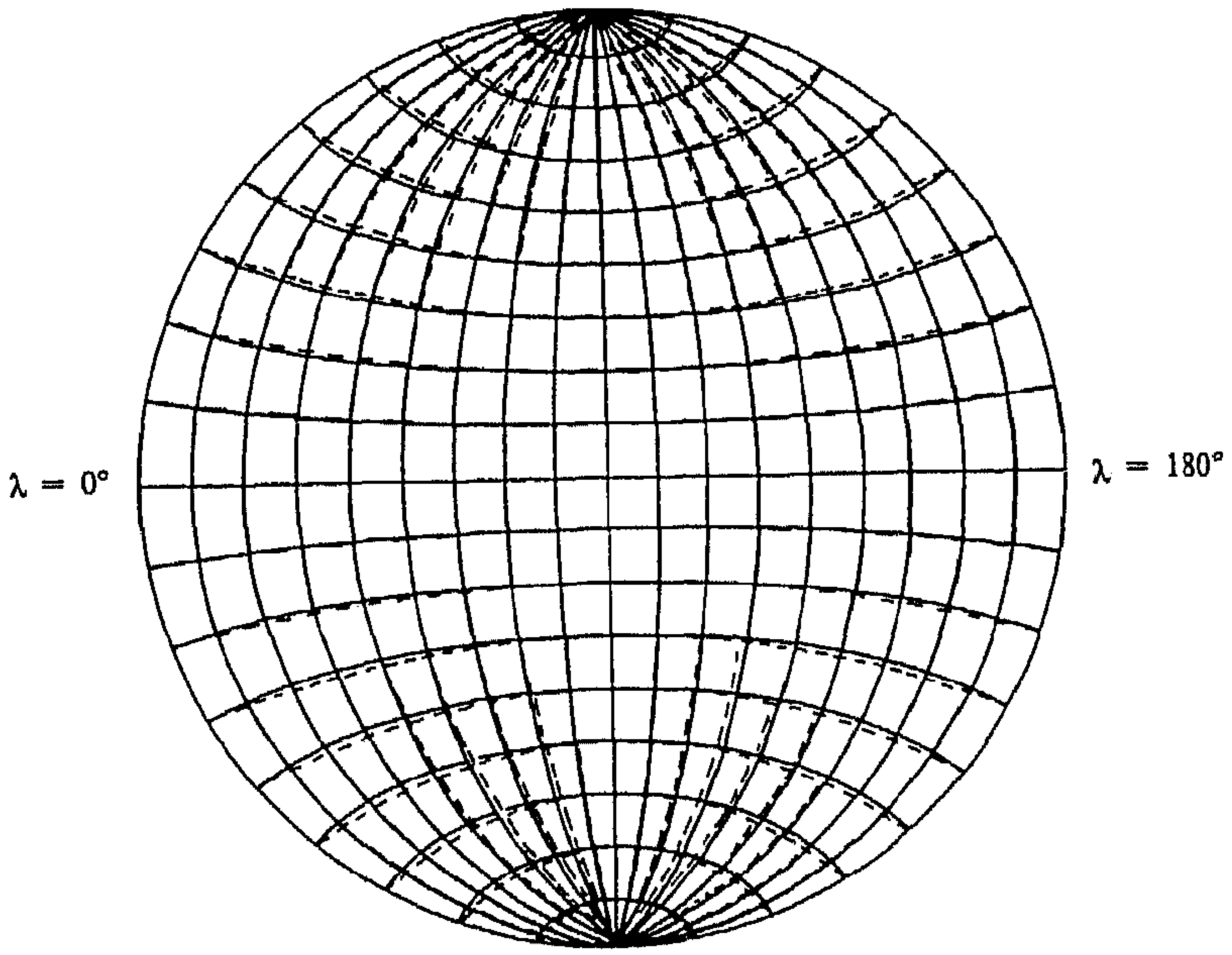
الشكل رقم (٦ ـ ٣)

طريقة التساوي في البعد السَّمتي.

---

(٣٨) انظر: Edward Stewart Kennedy and Marie-Thérèse Debarnot, «Two Mappings Proposed by Bīrūnī,» *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften*, Bd. 1 (1984), pp. 145 - 147.

نحن لا نعرف بوجود تطبيق شرقي للإسقاط الكروي. إلا أنه ظهر من جديد في أوروبا بعد مدة ستة قرون، بشكل مستقل عن البيروني. فقد نشر صقلّي اسمه جيانباتيستا نيكولوزي (Gianbattista Nicolosi)، في سنة ١٦٦٠م، مثلين تطبيقيين لهذا الإسقاط، أحدهما يمثل نصف الكرة الأرضية الشرقي، والآخر يمثل نصفها الغربي(٣٩). ثم ظهر تطبيق آخر سنة ١٦٧٦م، وتبعته تطبيقات أخرى. ففي سنة ١٧٠١م قدم العالم الفرنسي فيليب دو لاهير (Philippe de la Hire) وصفاً لنظام خرائطي مبتكر. وكانت بعض الخطوط الإحداثية فيه إهليلجية، ولكن شبكة الخطوط الإحداثية فيه تشبه إلى حد بعيد شبكة الإسقاط الكروي.



الشكل رقم (٦ ـ ٤)

شبكة الخطوط الاحداثية الخاصة بطريقة التساوي في البعد السمتي ممثلة بخطوط متواصلة، وشبكة الخطوط الإحداثية بطريقة الإسقاط الكروي ممثلة بخطوط متقطعة على نصف كرة.

---

(٣٩) انظر: Macaya d'Avezac, «Coup d'œil historique sur la projection des cartes de géographie,» *Bulletin de la société de géographie,* vol. 5, no. 5 (1863), p. 342.

أما عالم الخرائط الإنكليزي آرون أرُوسميث (Aaron Arrowsmith) فقد نشر سنة ١٧٩٤ خريطة للعالم. وقال ضمن ملاحظاته التفسيرية التي رافقت الخريطة، انه اختار إسقاط لاهير لأنه الأفضل. ثم وصف، بعد ذلك بناء شبكة الإحداثيات بأقواس الدوائر بنفس الطريقة التي استخدمها البيروني(٤٠). ولسنا نقول بأن البيروني قد أثر مباشرة على أرُوسميث. ولكن ما يدعو إلى الدهشة هو أن رجلين، أحدهما في القرن الحادي عشر والآخر في القرن الثامن عشر، توصلا، للسبب نفسه، إلى اختيار الخط الأكثر بساطة.

د ـ الإسقاط التجسيمي الإستوائي

يتم، في الإسقاط التجسيمي، إسقاط نقط الكرة على مستوى دائرة كبرى معينة انطلاقاً من أحد قطبي هذه الدائرة. لقد تم اكتشاف هذا الإسقاط وميزته الأساسية منذ زمن بعيد ربما يعود إلى حوالى سنة ١٥٠ قبل الميلاد(٤١). وهذه الميزة هي أن الدوائر تسقط على دوائر. وكان التطبيق الرئيس لهذا الإسقاط هو الأسطرلاب النموذجي الذي يتخذ فيه القطب الجنوبي السماوي كنقطة للإسقاط.

ولكن العربي الإسباني، الزرقالي، ابتكر، حوالى سنة ١٠٥٠م أسطرلاباً سماه «الصفيحة» («saphea» في اللغة اللاتينية الغربية)، يستخدم فيه الإسقاط التجسيمي انطلاقاً من نقطة على خط الإستواء(٤٢). انتشرت هذه الآلة في أوروبا. وتم تبنّي طريقة الإسقاط المستخدم فيها، في رسم الخرائط الأرضية. وأصبحت هذه الطريقة، في أواخر القرن السادس عشر، الطريقة المهيمنة في رسم خرائط العالم(٤٣)، حتى إنه خلط بينها وبين الإسقاط الكروي الموصوف أعلاه. ويمكن التمييز بين هاتين الطريقتين إذا لاحظنا أن المسافات، بين تداريج خط الاستواء في الخرائط التجسيمية، تتمدد قليلاً عند طرف الخريطة. بينما تبقى المسافات ثابتة في خرائط الإسقاط الكروي.

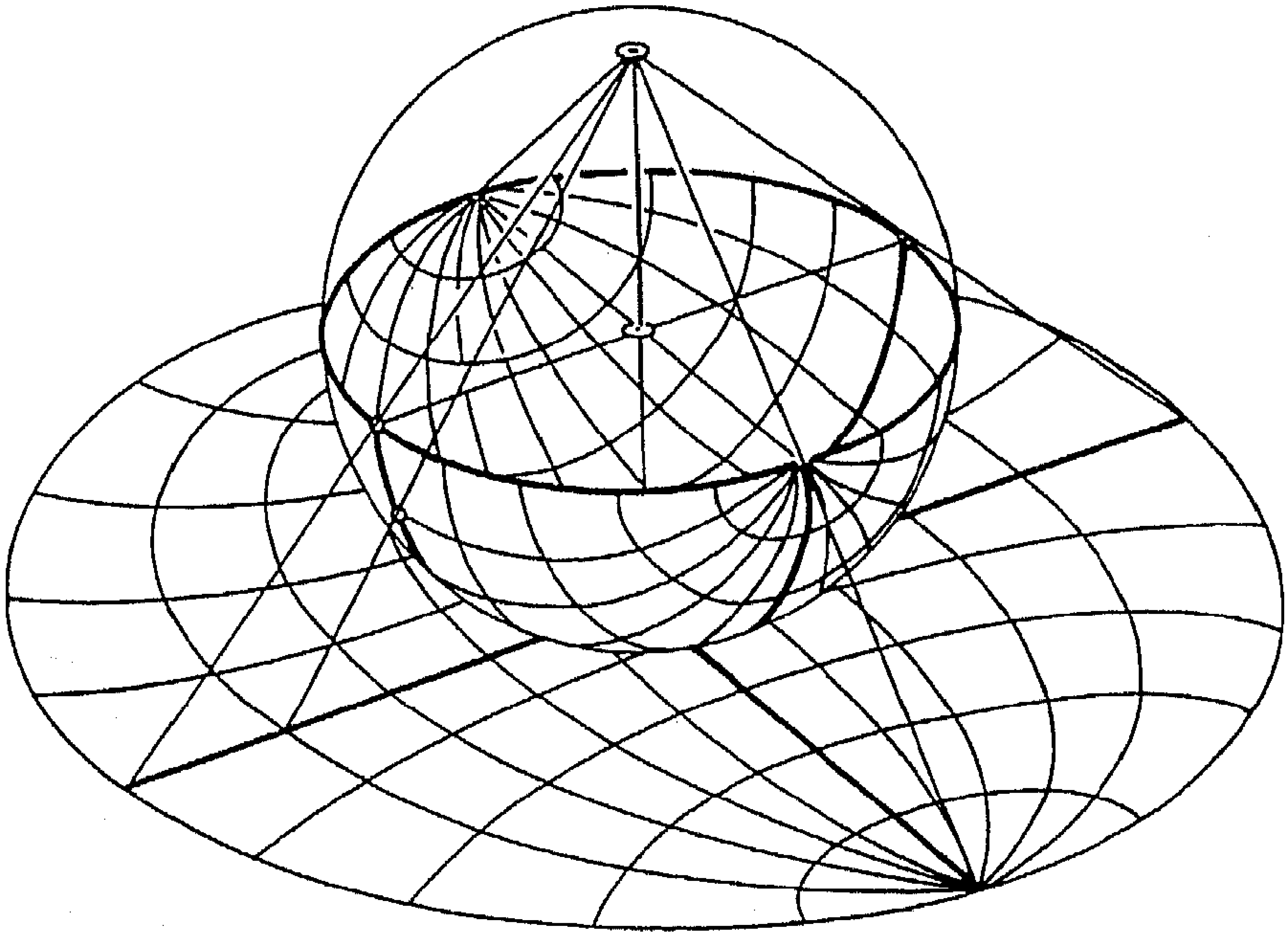
---

(٤٠) المصدر نفسه، ص ٣٥٩.

(٤١) انظر: Otto Neugebauer, «The Early History of the Astrolabe: Studies in Ancient Astronomy IX,» *Isis,* vol. 40, no. 121 (August 1949), pp. 240 - 256.

(٤٢) انظر: José María Millás-Vallicrosa, *Estudios sobre Azarquiel* (Madrid; Consejo Superior de Investegaciones Científicas, Instituto «Miguel Asín», Escuelas de Estudios Arabes de Madrid y Granada, 1950).

(٤٣) انظر: Johannes Keuning, «The History of Geographical Map Projections until 1600,» *Imago Mundi,* vol. 12 (1955), pp. 7 - 9.



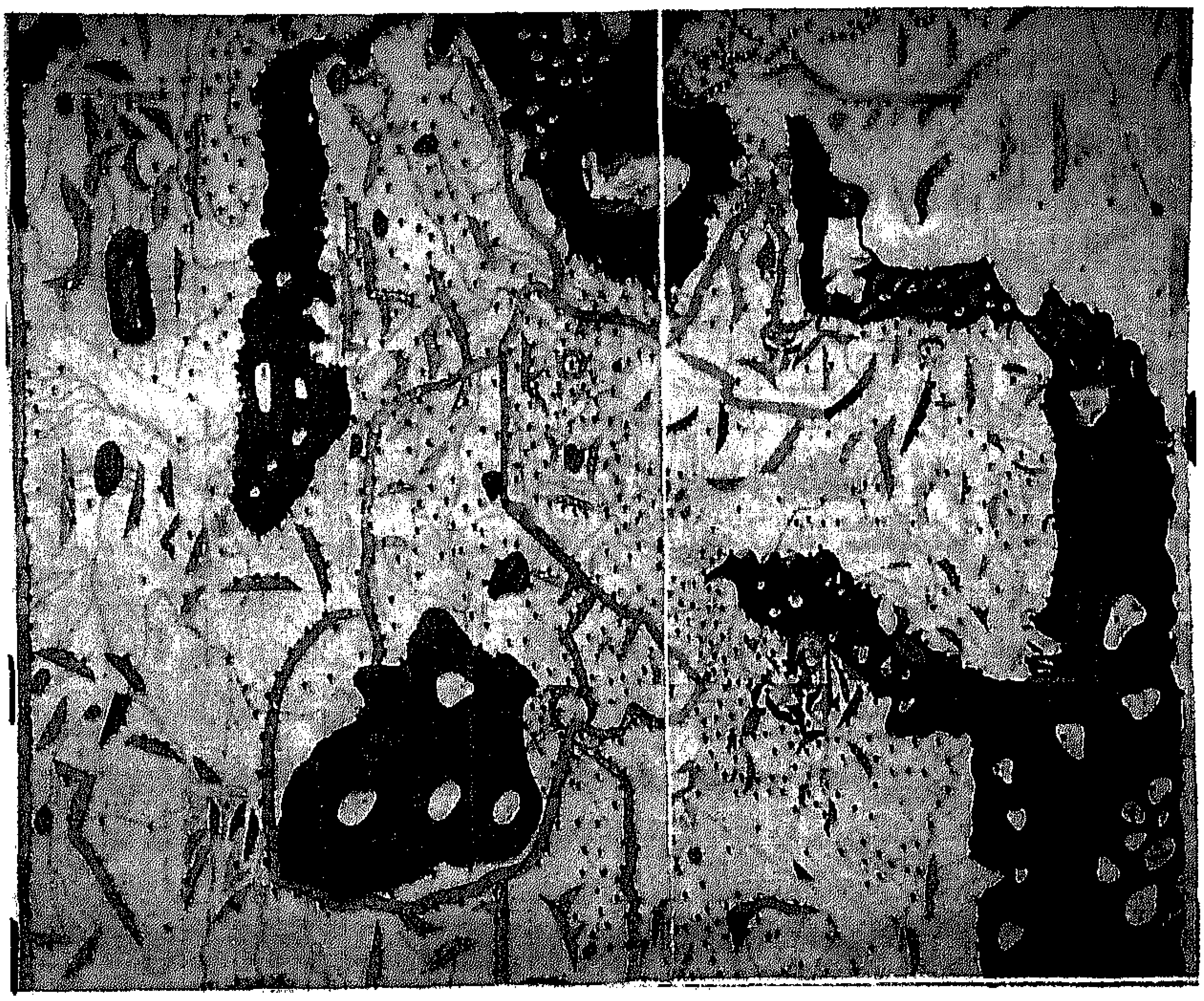
الشكل رقم (٦ ـ ٥)

الإسقاط التجسيمي الاستوائي.

٥ ـ خريطة الإدريسي

كانت الجغرافيا من بين الاهتمامات الفكرية العديدة لملك صقلية النورمندي روجيه الثاني. لقد كلف روجيه الثاني المغربي أبو عبد الله محمد الشريف الإدريسي بتأليف أطلس كامل للعالم. ودعم المشروع بسخاء، وموّل الأسفار البعيدة التي زادت، بفضل التقارير التي جلبتها، من المراجع المكتوبة التي كانت تحت تصرف الإدريسي. وقد تحقق الهدف المطلوب من هذا المشروع سنة ١١٥٤م بعد خمس عشرة سنة من العمل، وذلك بالحصول على خريطةٍ دائريةٍ للعالم[٤٤]، وخريطةٍ مستطيلةٍ أكبر بكثير من الأولى، ونصٍ مرافق لهما باللغة العربية.

(٤٤) انظر: Konrad Miller, *Mappæ Arabicæ, Arabische Welt - und Länderkarten*, 6 vols. (Stuttgart: Selbstverlag des Herausgebers, 1926 - 1931), vol. 5, p. 160.



الصورة رقم (٦ ـ ١)
الإدريسي، نزهة المشتاق في اختراق الآفاق
(باريس، مخطوطة المكتبة الوطنية، عربي ٢٢٢١).
يمكن لمخطوطة هذه الخرائط إذا ركبت من جديد أن تعطي صورة للعالم
كما يصفه الإدريسي من المغرب إلى الهند.

تتألف الخريطة الكبرى(٤٥) من سبعين ورقة مستطيلة. وتجمع هذه الأوراق في سبعة ملفات، وفي كل ملف عشر أوراق. ويظهر الشمال في أسفل الخريطة، خلافاً للتقاليد

(٤٥) توجد أحدث نسخة في: Konrad Miller, *Weltkarte des Arabers Idrisi vom Jahre 1154* (Neudruck des 1928 erschienenen Werkes) (Stuttgart: Brockhaus, 1981).

الحديثة. هناك مئات من العناصر الجغرافية والمدن، ولكن الطريقة المتبعة لتحديد مواقعها على الخريطة ليست واضحة. أما الطرفان العلوي والسفلي لكل ملف فهما مطابقان للطرفين العلوي والسفلي لكل من الأقاليم السبعة المعروفة في العصور القديمة(٤٦).

إن تحديد هذه المناطق على سطح الكرة الأرضية مرتبط بعلم الفلك. يبدأ الإقليم الأول، نظرياً، على خط العرض الذي يكون أقصى طول للنهار عليه مساوياً لاثنتي عشرة ساعة وثلاثة أرباع الساعة. وينتهي عندما يبدأ الإقليم الثاني على خط العرض الذي يكون أقصى طول للنهار عليه مساوياً لثلاث عشرة ساعة وربع الساعة. وهكذا تتتابع الأقاليم باتجاه الشمال، بحيث يوافق كل حد من حدودها زيادة نصف ساعة في الطول الأقصى للنهار.

إن عروض الأقاليم، تبعاً لهذا التحديد، تتناقص باتجاه الشمال. إلا أنها، على خريطة الإدريسي تميل للاحتفاظ بعرض ثابت مساوٍ لست درجات. وذلك ما تمكن رؤيته على سلم جزئي للعروض على طول الطرف الأيمن للخريطة(٤٧).

كل شيء يدل على أن الإدريسي لم يكن رياضياً كبير التجربة، وأنه كان يجهل علم المثلثات. إلا أن طرقه التقريبية العملية كانت ملائمة جيداً لكتلة المعلومات التي كانت تحت تصرفه والتي غالباً ما كانت متناقضة. وهو يشير، في مقدمة نصه(٤٨)، إلى اثني عشر مرجعاً، منها مرجع واحد، وهو **الجغرافيا** لبطلميوس، معروف باستناده على الإحداثيات. إلا أن أغلب الجغرافيين المسلمين كانوا يميلون إلى تقديم المعطيات تبعاً للأقاليم، حتى ان الإدريسي قد وضع الأماكن بمهارة داخل أقاليمها الخاصة، دون أن يهتموا بالحدود الدقيقة لتلك الأقاليم. ويظهر البحث أن أخطاءه، في الواقع، لم تكن كبيرة(٤٩).

وكما هي الحال بالنسبة إلى الأطوال، ليس هناك أي أثر لسلم أفقي على الخريطة. لقد رأينا أعلاه كيف كان تحديد الأطوال قليل الدقة خلال القرون الوسطى، وهذا ما يفسر حذر الإدريسي. وإذا كان يظن (تبعاً للفكرة الرائجة في ذلك العصر) أن القسم المسكون من الأرض يمتد على طول قدره °180، نستنتج من ذلك أن كل ورقة تغطي °18. فإذا قارنا

---

(٤٦) انظر: Honigmann, *Die sieben Klimata,* and Ahmad Dallal, «Al-Bīrūnī on Climates,» *Archives internationales d'histoire des sciences,* vol. 34 (1984), pp. 3 - 18.

(٤٧) انظر: Miller, *Mappæ Arabicæ, Arabische Welt-und Länderkarten,* vol. 5, p. 164.

(٤٨) انظر: Al-Idrīsī, *Opus Geographicum,* sous la direction de l'Instituto Orientali de Naples (Leiden: E. J. Brill, 1970-), et A. Jaubert, *La Géographie d'Edrisi* (Paris: [s. n.], 1836 - 1840), réimprimé (Amsterdam: Philo Press, 1975).

(٤٩) انظر: Edward Stewart Kennedy, «Geographical Latitudes in al-Idrīsī's World Map,» *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften,* Bd. 3 (1986), pp. 265 - 268.

هذا بعروض الأقاليم، يظهر لنا أن الخريطة هي من نوع خريطة مارينوس، لأن درجة الطول فيها تساوي ستة أعشار درجة العرض تقريباً. وهذا ما يجعل الالتواء في حده الأدنى في الإقليمين السادس والسابع. أما في الأقاليم الأخرى، فإن المسافات من الشرق إلى الغرب أقصر مما يجب أن تكون بالمقارنة مع المسافات من الشمال إلى الجنوب.

يشير الإدريسي في مقدمته إلى «لوح الترسيم» وإلى «سلم من حديد». ولكن شكل ووظيفة كل من هذين العنصرين ما زالا غامضين. ولكن المراجع تعطي في أغلب الأحيان المسافات بين الأماكن. وقد تنص طريقة معقولة على أن توضع في أول الأمر، المدن البعيدة التي تبدو مواقعها محددة بشكل موثوق. وبعد ذلك، توضع النقط المتوسطة بتثليثات متتابعة في لوح الترسيم، قبل أن تنقل عند الاقتضاء إلى الخريطة النهائية المنقوشة في الأصل على أوراق من الفضة.

ومهما كانت الطريقة المتبعة، فإن النتيجة كانت أروع ما أنجز في علم الخرائط الإسلامي. وقد استندت عليها مؤلفات عديدة تتضمن دراسات لمناطق خاصة في الخريطة، كالجزر البريطانية[٥٠] واسكندينافيا[٥١] وألمانيا[٥٢] وإسبانيا[٥٣] وبلغاريا[٥٤] وافريقيا[٥٥] والهند[٥٦].

---

(٥٠) انظر: A. F. L. Beeston, «Idrisi's Account of the British Isles,» *Bulletin of the School of Oriental and African Studies*, vol. 13 (1950), pp. 265 - 280.

(٥١) انظر: Oiva Johannes Tuulio - Tallgren, *Du nouveau sur Idrīsī*, édition critique, traduction, études par O. J. Tuulio - Tallgren (Helsinki: Imprimerie de la société de littérature finnoise, 1936).

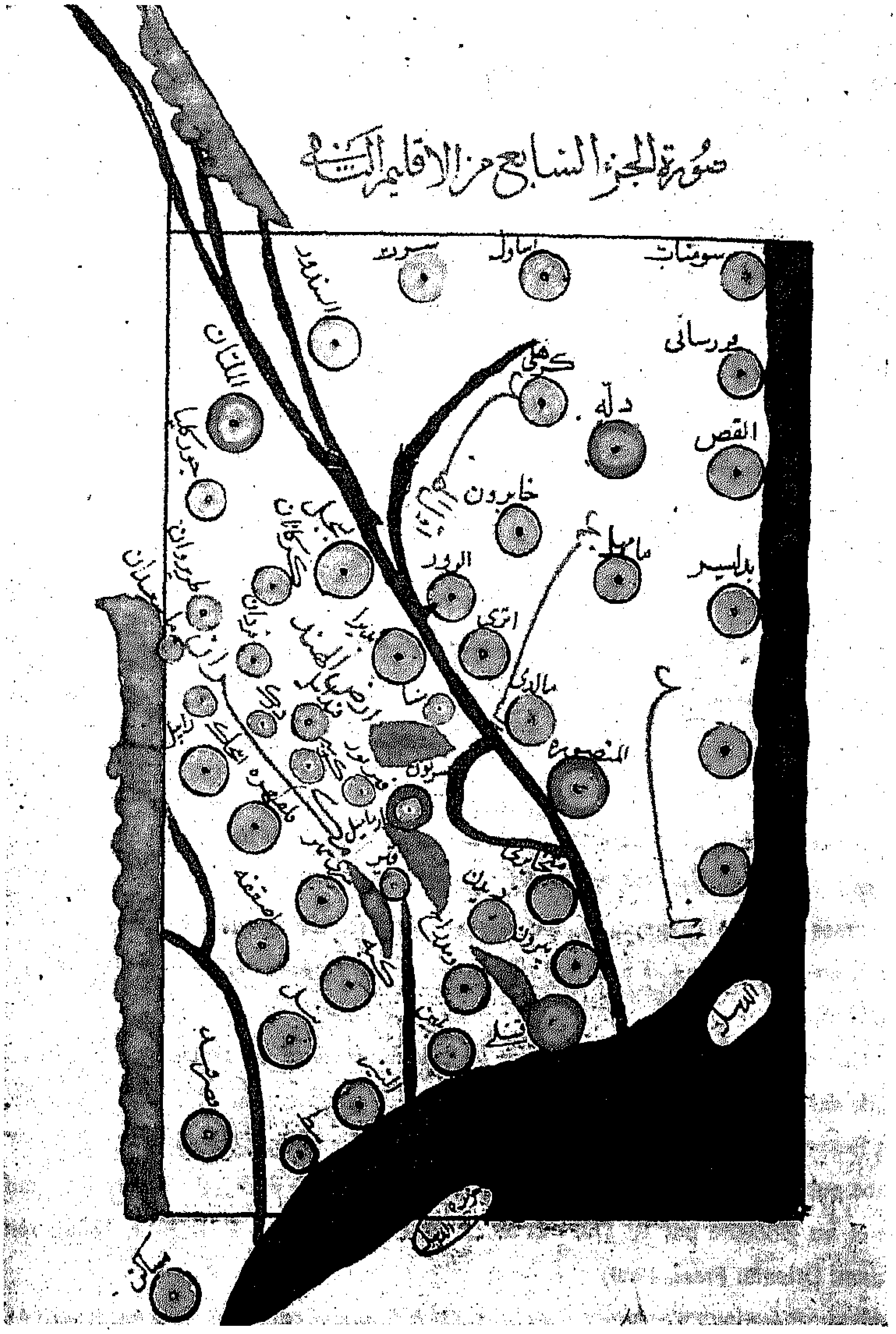
(٥٢) انظر Wilhelm Hoernerbach, *Deutschland und sein Nachbarländer nach der grossen Geographie des Idrīsī* (Stuttgart: [n. pb.], 1937).

(٥٣) انظر: Reinhart Pieter Anne Dozy, ed. et tr., *Description de l'Afrique et de l'Espagne*, texte arabe pub. pour la première fois d'après les man. de Paris et d'Oxford avec une traduction, de notes et un glossaire par R. Dozy et M. J. de Goeje (Leiden: E. J. Brill, 1866), réimprimé (Amsterdam: Oriental Press, 1969).

(٥٤) انظر: Boris Nedkov, *B'lgariya i c'cednite i zemi prez XII bek spored «geografiyata» na Idrisi* (Sofia: Nauka i Iskustvo, 1960).

(٥٥) انظر: Hans von Mzik, «Idrīsī und Ptolemäus,» *Orientalistische Literaturzeitung*, Bd. 15 (1912), pp. 404 - 405.

(٥٦) انظر: Al-Idrīsī, *India and the Neighboring Territories in the Kitāb nuzhat al-mushtāq fī-'Khtirāq al-āfāq of al-Sharīf al-Idrīsī*, a translation, with commentary, of the passages relating to India, Pakistan, Ceylon, parts of the Afghanistan and the Andaman, Nicobar and Maldive Islands, etc, by S. Maqbul Ahmad, with a foreword by V. Minorsky, Publications of the De Goeje Fund; 20 (Leiden: E. J. Brill, 1960).



الصورة رقم (٦ ـ ٢)

الإدريسي، كتاب أنس المهج وحدائق الفرج في علم جميع الأرض

(طهران، مخطوطة مجلس شورى، ٦٧١٠).

نرى في هذه الصورة خريطة الجزء السابع من الإقليم الثاني (الهند).

٦ ـ الخرائط الإيرانية ذات الإحداثيات المستطيلة

توجد عدة نسخات من كتاب جغرافي كتبه حوالى سنة ١٣٤٠م مؤلف اسمه حمد الله المستوفي القزويني. ويتضمن الكتاب خريطة نجد منها نسخة طبق الأصل في كتاب ميلر (Miller)[٥٧].

تغطي هذه الخريطة منطقة تمتد من سوريا غرباً إلى كشمير شرقاً، ومن اليمن جنوباً إلى خوارزم شمالاً. والخريطة مقسمة إلى عدة مستطيلات بخطوط متوازية ومتعامدة فيما بينها ومتباعدة بمسافات مساوية لدرجة واحدة. وتتضمن الخريطة أسماء ١٧٠ مدينة كل واحدة منها مسجلة داخل المستطيل الموافق لعرضها ولطولها. إن التحقق من إحداثيات ما يقرب من اثنتي عشرة مدينة من هذه المدن، يظهر أن هذه الإحداثيات مطابقة، باختلافات لا تتعدى عدة درجات، لتلك الواردة في الجداول الجغرافية لأزياج الفرس. أما المميزات الجغرافية فلا توجد على هذه الخريطة إلا فيما يخص الخطوط الساحلية.

إن هذه الخريطة، كما تقدم، تعطي مثالاً قيماً، ولو كان بدائياً، لشبكة من الإحداثيات. وهي الشبكة الوحيدة الموجودة تحت تصرفنا، للخرائط الإسلامية في القرون الوسطى. وهيَ تتبع التعليمات الموجودة في مقدمة خريطة شهراب المذكورة أعلاه. وتوجد خريطة أخرى للعالم في كتاب المستوفي، ولكنها أقل نجاحاً من الخريطة السابقة. ومن الأفضل عرضها في آن واحد مع خريطة حافظي أبرو (المتوفى سنة ١٤٣٠م)[٥٨]. وذلك لأننا نشعر بأن هذا الأخير قد تأثر بشكل واضح بالمؤلف السابق. ونظراً لأخطاء الناسخين العشوائية، يجب استخلاص النتائج استناداً إلى أكبر عدد ممكن من المخطوطات. وتوجد نسختان من خريطة المستوفي للعالم في كتاب ميلر[٥٩].

تدور الفكرة العامة، في هاتين الخريطتين، حول رسم شبكة مربعةٌ من الإحداثيات المستقيمة، تتراوح أطوالها من 0° إلى 180°، وتتراوح عروضها (تبعاً للمصطلحات الحديثة) من −90° إلى 90°. أما المسافة بين خطين متواليين فتساوي عشر درجات في خريطة المستوفي وخمس درجات في خريطة الحافظ. وترسم دائرة محوطة بالمربع لتمثيل نصف الكرة المسكون. أما الخريطة نفسها فهي داخل الدائرة. ويتم إقصاء أو إهمال المناطق التي تقع إحداثياتها في الزوايا. وقد أحجم المستوفي بتعقل عن ترسيم المدن واكتفى بترسيم المناطق. أما الحافظ فقد وضع على الخريطة عدداً لا بأس به من المدن الواقعة في القسم المركزي منها حيث يكون الالتواء بسيطاً.

---

(٥٧) انظر: Miller, *Mappæ Arabicæ, Arabische Welt-und Länderkarten*, vol. 5, clichés 34 - 35 et 86.

(٥٨) وهي منشورة في: المصدر نفسه، مج ٥، الصورتان ٧٢ و٨٢.

(٥٩) المصدر نفسه، مج ٥، الصورتان ٨٣.

ـ ٧ ـ
علم الملاحة العربي

هنري غروسّي - غرانج(*)

مقدمة

تستند المعرفة الملاحية، بشكل رئيس، على تراكم تجارب الملاحين، لكنها أيضاً تشكل علماً يأخذ مكانه على ملتقى عدة علوم مختلفة. نذكر من هذه العلوم، على الأخص، علم

(*) قبطان إبحارات بعيدة المدى ـ فرنسا، متوفّى.

أعاد هنري روكات (Henri Rouquette)، قبطان مدمرة، تحرير هذا النص بالكامل، كما قام بترجمة هذا الفصل بدوي المبسوط.

بخصوص مراجع هذا الفصل، انظر: Luis Guilherme Mendonça de Albuquerque, *Quelques commentaires sur la navigation orientale* (Paris: Arquivos do Centro Cultural, Fondation C. Gulbenkian, 1972); Leo Bagrow, *The Vasco Gama's Pilot* (Genova: Civico Instituto Colombiano, [1951?]; T. A. Chumovski, *Thalāth rāhmanajāt majhūla li Ahmad b. Mājid*, texte arabe et traduction russe (Moscou, Leningrad: [n. pb.], 1957); Gabriel Ferrand: ed., *Instructions nautiques et routiers arabes et portugais des XVe et XVIe siècles*, 3 vols. (Paris: Geuthner, 1921 - 1928), tomes I et II: textes arabes, tome III: *Introduction à l'astronomie nautique arabe*, et *L'Elément persan dans les textes nautiques arabes des XVe et XVIe siècles* (Paris: Imprimerie nationale, 1924); Henri Grosset - Grange: «Analyse des voyages d'Inde à Malacca,» *Navigation*, vol. 81 (1973), pp. 97 - 109; «Une carte nautique arabe au moyen âge,» *Acta Geographica*, vol.27 (1976), pp. 33 - 48; «Noms d'étoiles, quelques termes particuliers,» *Arabica:* (1972), pp. 240 - 245; (1977), pp. 42 - 46, et (1979), pp. 90 - 98; «La Côte africaine dans les routiers nautiques arabes,» *Azania* (Nairobi, British Institute in Eastern Africa), vol. 13 (1978), pp. 1 - 17; «La Science nautique arabe,» *Jeune marine*, nos. 16 à 29 sauf 22 (1977 à 1979), et *Glossaire du parler* = *maritime arabe, autrefois et aujourd'hui* [sous presse, 1992?];

الفلك والجغرافيا وعلم المناخ (الأرصاد الجوية)، بالإضافة إلى مسألة آلات القياس وآلات الرصد.

إن عرض تاريخ علم الملاحة العربي صعب لأن النصوص القديمة ضائعة حالياً. وليس لدينا إلا النصوص المكتوبة في نهاية القرن الخامس عشر الميلادي وبداية القرن السادس عشر الميلادي، التي تصف فن الملاحة في المحيط الهندي فقط. وهكذا سيقتصر عرضنا، بشكل اضطراري، على تحليل التعليمات البحرية للمؤلفين ابن ماجد وسليمان المهري. لقد ظهر هذان البحاران في نهاية فترة زمنية تم خلالها، تقريباً، نضوج تقليد علمي كان هذان البحاران من ورثته. لكننا لا نستطيع وصف التطور التاريخي لهذا التقليد، بسبب النقص الحالي لمعارفنا الخاصة بمصادر علم الملاحة العربي.

= شهاب الدين أحمد بن أبي الركائب بن ماجد: **كتاب الفوائد في أصول علم البحر والقواعد**، تحقيق إبراهيم خوري وعزة حسن، العلوم البحرية عند العرب، ج ١، ق ٢ (دمشق: مطبوعات مجمع اللغة العربية، ١٩٧١)، **والحاوية**، تحقيق وتقديم إبراهيم خوري (دمشق: نشرة الدراسات الشرقية، ١٩٧١)؛ Albert Kammerer, ed. et tr., *Le Routier de dom Joam de Castro: L'Exploration de la Mer Rouge par les Portugais en 1541* (Paris: Geuthner, 1936); Paul Kunitzsch, «Zur Stellung der Nautikertexte innerhalb der Sternnomenklatur der Araber,» *Der Islam*, vol. 43 (1967), pp. 53 ss et vol. 56 (1979), pp. 305 ss;

سليمان بن أحمد بن سليمان المهري، **العمدة المهرية في ضبط العلوم البحرية**، تحقيق إبراهيم خوري، العلوم البحرية عند العرب، تحقيق وتحليل، القسم ١ (دمشق: مطبوعات مجمع اللغة العربية؛ المطبعة التعاونية، ١٩٧٠)؛ **المنهاج الفاخر في علم البحر الزاخر**، تحقيق إبراهيم خوري، العلوم البحرية عند العرب، تحقيق وتحليل، القسم ١ (دمشق: مطبوعات مجمع اللغة العربية؛ المطبعة التعاونية، ١٩٧٠)، **ورسالة قلادة الشموس واستخراج قواعد الأسوس. تحفة الفحول في تمهيد الأصول في أصول علم البحر. كتاب شرح تحفة الفحول في تمهيد الأصول في أصول علم البحر**، تحقيق إبراهيم خوري، العلوم البحرية عند العرب، تحقيق وتحليل، القسم ١ (دمشق: مطبوعات مجمع اللغة العربية؛ المطبعة التعاونية، ١٩٧٢)؛ شهاب الدين أحمد بن ماجد بن محمد السعدي بن ماجد، **ثلاث أزهار في معرفة البحار**، تحقيق ونشر تيودور شوموفسكي؛ ترجمة وتعليق محمد منير مرسي (القاهرة: عالم الكتب، ١٩٦٩)؛ Ahmad Nafis, *Muslim Contribution to Geography* (Lahore: M. Ashraf, [1947]); Robert Bertram Serjeant, *The Portuguese off the South Arabian Coast: Haḍramī Chronicles, with Yemeni and European Accounts of Dutch Pirates off Mocha in the Seventeenth Century* (Oxford: Clarendon Press, 1963);

حسن صالح شهاب: **فن الملاحة عند العرب** (بيروت: دار العودة؛ صنعاء: مركز الدراسات والبحوث اليمني، ١٩٨٢)؛ **الدليل البحري عند العرب** (الكويت: مجلة دراسات الخليج والجزيرة العربية، ١٩٨٣)، **وطرق الملاحة التقليدية في الخليج العربي** (الكويت: [د. ن.]، ١٩٨٤)؛

Gerald Randall Tibbetts, *Arab Navigation in the Indian Ocean before the Coming of the Portuguese* (London: Royal Asiatic Society of Great Britain and Ireland, Sold by Luzac, 1971); Alan John Villiers, *Sons of Sindbad* (Portway - Bath: Cedric Chivers, 1966), and Reinhard Wieber, «Überlegungen zur Herstellung eines Seekartogramms anhand der Angaben in den Arabischen Nautikertexten,» *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 4, no. 1 (Fall 1980), pp. 23 - 47.

وينبغي أن نعرض، بشكل سريع، الإطار التاريخي والجغرافي الذي اندرجت فيه أعمال هذين البحارين، وأن نشير أيضاً إلى الخطوط البحرية وإلى المراكب التي كانت تسير عليها. وسنذكُر أيضاً ببعض مفاهيم الملاحة، القديمة منها والحديثة، وبموجز للمصطلحات البحرية. كل هذا ضروري لتتبع عرض وتحليل النصوص أولاً، ومن بعد ذلك، لإدراك أهمية المكتسبات التي أحرزت، بفضل تجارب الملاحة العربية.

أولاً: الوضع التاريخي والوضع الجغرافي

لقد تمت تجربة البحارين ابن ماجد والمهري في إطار جغرافي محدد بإحكام، وهو إطار المحيط الهندي: طريق الاحتكاك التقليدي بين حضارات الغرب (الرومانية ثم العربية) وبين الحضارة الصينية. إنه ميدان الرياح المنتظمة والمتناوبة المسماة بالرياح الموسمية. وهذا ما شجع، بلا انقطاع، المبادلات التجارية الكثيرة النشاط بين شواطئه المختلفة.

تمتد الفترة التاريخية، التي تهمنا في هذه الدراسة، من سنة ١٤٥٠م إلى سنة ١٥٥٠م تقريباً. وهي الفترة المعتبرة إجمالاً كفترة انتقالية بين القرون الوسطى والعصور الحديثة. إنها فترة «الاكتشافات الكبرى» التي أخذ خلالها البحارة البرتغاليون يلتفون حول القارة الافريقية ويدخلون المحيط الهندي الذي ظل خلال أكثر من خمسة قرون ميداناً مقتصراً على البحارة العرب والفرس والهنود والصينيين.

وكان للعرب، في ذلك العصر، نقطتا ارتكاز رئيستان:

- الساحل الشرقي الافريقي الذي كان تابعاً لسلطنة عمان مع مرافئه العديدة (التي بلغ عددها ٣٧ على ما يظهر) ومن أهمها مقديشو وماليندي (في كينيا الحالية) وقلوى (تنزانيا) وسُفالة (الموزمبيق).

- سلطنة دلهي (ابتداء من سنة ١٢٠٦م؛ وكانت تسيطر على كل الدكن في سنة ١٣١٠م).

وكان البحارة العرب يتجولون، بفضل الرياح الموسمية الجنوبية الغربية، بين هذين القطبين، حتى انهم تعدوهما باتجاه المضائق. وقد تجاوز مركب هندي (أو عربي) رأس الرجاء الصالح سنة ١٤٢٠م ودخل المحيط الأطلسي.

وكان هؤلاء البحارة يتلاقون على هذه الطرق مع البحارة الصينيين الذين كانوا يسجلون الانتصارات. فقد مثلت خريطة كورية الرأس الافريقي، منذ سنة ١٤٠٢م. وبدأت سنة ١٤٠٥م الحملات البحرية الكبيرة لأمير البحر الصيني زهنغ هي. وقد وصل هذا الأخير، بعد عدة محاولات، إلى اندونيسيا وإلى الهند، ثم تجاوزهما ووصل إلى افريقيا سنة ١٤١٧. ثم عاد إليها بين سنة ١٤٣١م وسنة ١٤٣٣م.

هل كان المحيط الهندي، إذاً، تحت السيادة الصينية العربية؟ يبدو أن العرب قد حافظوا فيه على وجودهم الذي كان تجارياً بشكل أساسي.

إن إقفال طريق الحرير البرية، بسبب السياسة الانعزالية الكارهة للأجانب التي مارستها أسرة منغ الحاكمة في الصين، سمح للعرب باحتكار التجارة بين الشرق والغرب. وقد استفادوا من هذا الوضع حتى تدخل البرتغاليين.

فقد بدأ هؤلاء يلتفون تدريجياً حول افريقيا، إذ وصل بارتيليمي دياس (Barthelemy Dias) إلى رأس الرجاء الصالح سنة ١٤٨٨م. وتابع فاسكو دو غاما (Vasco de Gama) الطريق شمالاً بمحاذاة الموزمبيق (حيث التقى في كليمان (Quelimane) بأربعة مراكب عربية محملة بالذهب والجواهر والماس والتوابل). وقد قدم سلطان ماليندي، لكي ينافس سلطان مومبازا، لفاسكو دو غاما أحسن قائد بحري في المحيط الهندي، وهو ابن ماجد المعروف بمؤلفاته عن الملاحة منذ سنة ١٤٦٢م. وقد قاد هذا الأخير الأسطول البرتغالي لمدة ٢٣ يوماً إلى كاليكوت (Calicut) (جنوب ماهي (Mahé) في كيرالا الحالية).

إن هذا العمل الباهر يدل على أن من قام به ربان مجرب. لكننا، على الرغم من ذلك، لا نستطيع الجزم بشكل قطعي، بأن من أنجزه هو ابن ماجد نفسه كاتب المؤلفات البحرية. ومهما يكن من أمر، فإن عمل هذا البحار قد أدى، من دون وعي منه، إلى إبعاد العرب عن الملاحة في المحيط الهندي، أو بالأقل، إلى إنهاء سيطرتهم على الملاحة فيه (لأن ملاحتهم لم تزل ناشطة فيه حتى اليوم بين افريقيا الشرقية والصومال وشبه الجزيرة العربية وشبه القارة الهندية وجزر المالديف).

ثانياً: الخطوط البحرية والمراكب

لقد ساعدت ظاهرة الرياح الموسمية في إقامة «خطوط» بحرية منتظمة تم استثمارها من قبل شركات عائلية لتجهيز السفن.

كان البحارة العرب ينطلقون من الموانئ الافريقية، وهي مدن ناشطة ومتنافسة فيما بينها. وكانت رحلتهم تنتهي في ماليزيا، بعد التوقف على الشاطىء الغربي للهند (في غوا أو كاليكوت). أما وصولهم إلى الصين، فهو غير مؤكد (هل كان لهم محطة تجارية في كانتون؟). وكانوا ينقلون من الغرب إلى الشرق العاج والذهب، أي المادتين الأساسيتين لصنع الأصناف الكمالية، بالإضافة إلى العبيد. وتعود هذه السفن محملة بالقطن والحرير والتوابل والأواني الخزفية والصينية.

وكانت الرياح الموسمية تفرض اتجاه السير على هذه الخطوط. فمن تشرين الثاني/ نوفمبر إلى آذار/ مارس تهب هذه الرياح من افريقيا الساخنة إلى الهند الباردة بالاتجاه الشمالي الشرقي. ولكن الشمس تزيد من حرارة الهند، ابتداء من شهر نيسان/ أبريل فتسبب

انعكاساً للرياح الموسمية التي تهب عندئذ في الاتجاه الجنوبي الغربي. ثم تهب هذه الرياح من حزيران/يونيو إلى أيلول/سبتمبر على امتداد بحر العرب وخليج البنغال، في جميع الاتجاهات.

وكان هناك نوعان من الرحلات: النوع **الأول** ممثل بالخط البحري الموصل إلى ملقة. وهو يلتف من بعيد جداً حول جزيرة سيلان لأسباب مختلفة (لا تظهر من بعيد إلا الثلوج التي تغطي التضاريس، أو «البروق الكاذبة» في الليل). بعد ذلك تمتد الطريق البحرية باتجاه جزر نيكوبار، استناداً إلى الأرصاد. أما النوع **الثاني** فهو ممثل بالخط الذي يصل بين الهند وعُمان، في نهاية الفترة التي تهب فيها الرياح الموسمية من الشرق. تتجه السفينة أولاً نحو سوقطرة، التي تظهر في بعض الأحيان قبل ظهور النسائم الأولى للرياح الموسمية ذات الاتجاه المعاكس. عندئذ تجب قيادة السفينة باتجاه الريح نحو شبه الجزيرة العربية. ثم تتواصل الرحلة على طول ساحل شبه الجزيرة العربية. وإذا لم تنجح السفينة في الاقتراب من هذا الساحل وجب الرجوع إلى الهند والانتظار هناك عدة أشهر. وهذا ما يضاعف، بالأقل، طول الطريق الواجب قطعها بالنسبة إلى الطريق المباشر.

أما الخطوط البحرية المستقيمة كتلك التي تصعد البحر الأحمر، فلم تكن الأخطار المحيطة بها أقل أهمية من الأخطار الأخرى.

غير أن مجموعة الخطوط البحرية تتضمن بعض النقاط الغامضة. وذلك أن المخطوطات تجعلنا نتكهن بوجود بعض المحظورات في جنوب شرق سومطرة وما بعد سنغافورة، وفي خليج البنغال والخليج العربي ـ الفارسي. وخلافاً لذلك، فإن صحة أرقام العروض الخاصة بـ لاسوند (La Sonde) وشاغوس (Les Chagos) وپمبا (Pemba)، تدل على وجود خطوط مباشرة بينها من زمن غير بعيد. أما المهري فيقول ما معناه: إن ملاحي المحيط الهندي والنصارى متفقون على تلك القيمة لكن أهل الصين وجاوا وما وراء... الخ. وهذا ما يدل على وجود وثائق مجهولة لا يمكن الاستغناء عنها لإتمام معارفنا. ويجب التنقيب عن هذه الوثائق في الهند والبرتغال.

يتطلب المحيط الهندي، نظراً لخصائصه المناخية، سفناً سريعة السير، قادرة على مواجهة الرياح المعاكسة، وسهلة الحركة باتجاه الرياح.

إن المراكب الشراعية (التي ما زالت مستخدمة حتى اليوم، وهي مصنوعة من خشب الساج، وذات مقدم متطاول ومؤخر مرتفع) والبغلات والسنابك كلها مجهزة بشراع «عربي» مزود بفرمان (وهو نوع من السارية يثبت عليها الشراع)، مصنوع حسب العادات المحلية. إنها سفن فصلية ممتازة طويلة ورفيعة. ونحن نعرف أن السفن في عصر ابن ماجد والمهري كانت قادرة على السير بعكس الريح في نهاية الفصل، أي عندما تكون الرياح خفيفة.

وذلك لكي تستطيع الوصول إلى مينائها دون أن تضطر، بسبب انعكاس اتجاه الرياح الموسمية، إلى التوقف في ميناء أجنبي.

إلا أننا لا نعرف بالتأكيد كيفية بناء وتجهيز هذه السفن التي كانت، مع ذلك، متنوعة. إن الرسوم الأكثر محاكاة لهذه السفن هي، على الأرجح، تلك الموجودة على بعض الخرائط البرتغالية في بداية القرن السادس عشر. ويمكن أن نتعرف فيها على نموذج لجهاز قيادة ما زال مستخدماً حتى اليوم على بعض السفن الكبيرة. ويكون مدير الدفة في هذا الجهاز بجانب الصاري الخلفي تقريباً (في سفينة ذات صاريَين).

ثالثاً: مختصر للمصطلحات البحرية

إشارة أو مَعْلَم: جسم ثابت جيد الرؤية موجود على الشاطىء، يسمح بمعرفة موقع السفينة في البحر.

أسطرلاب: آلة قديمة تستعمل لتحديد اللحظة التي تصل فيها نجمة ما إلى ارتفاع معين فوق الأفق.

رُسوّ: اقتراب السفينة من اليابسة.

زاوية السَّمت: هي الزاوية المحصورة بين المستوي العمودي لنجمٍ ما وبين مستوي خط الزوال في مكان معين يوجد فيه الراصد.

تَمَوُّر: التواء السفينة لتلقي الريح بالتناوب من الجهتين اليمنى واليسرى، وذلك للسير، عادة، ضد الريح.

إحداثيات الأجرام السماوية

طول جرم سماوي: زاوية تحدد مسقط الجرم على سطح (أو مستوي) فلك البروج. وفلك البروج هو الدائرة الكبرى التي ترسمها الأرض على الكرة السماوية في حركتها حول الشمس.

عرض جرم سماوي: زاوية تحدد مكان الجرم بالنسبة إلى الدائرة الكبرى التي يرسمها مستوي خط الاستواء الأرضي على الكرة السماوية.

الأزياج البحرية: جداول تعطي قيم بعض المقادير الفلكية الموافقة لكل يوم من أيام السنة. وفيها على الأخص إحداثيات الكواكب والشمس والقمر.

التقدير أو القطع (حسب تعبير ابن ماجد): طريقة لتحديد موضع السفينة على الخريطة، استناداً إلى مقادير الاتجاه والسرعة والهواء والتيار. ويتم التحقق من هذه النقطة

المقدرة على الخريطة، عندما تسنح الفرصة، بواسطة رصد دقيق على أحسن وجه ممكن للنجوم والإشارات.

قاع جداري أو عمودي: قاع قريب من الساحل يهبط عمودياً في البحر.

مزولة: ساعة شمسية.

مرخي كبير: ريح تدفع السفينة من الخلف، مائلة بالنسبة إلى سير السفينة بزاوية قدرها 30° (من الجهة اليسرى أو اليمنى) (الاصطلاح المستخدم هو: «مرخي»: . . . 60° . .).

ارتفاع جرم سماوي: زاوية اتجاه الجرم مع السطح (المستوي) الأفقي لمكان الراصد (الارتفاع + الزاوية السمتية = 90°).

التعليمات الملاحية: مجموعة المعلومات المفيدة في الملاحة الخاصة بالسواحل والرياح والتيارات والإشارات والمنارات.

طول مكان على الأرض: الزاوية الزوجية بين سطح (مُستوي) خط زوال المكان وسطح (مُستوي) خط الزوال الأولي (مرصد غرينتش). وهي تحسب باتجاه الغرب.

عرض مكان على الأرض: الزاوية بين عمود المكان وسطح (مستوي) خط الاستواء. وهي تحسب إيجابياً باتجاه الشمال وسلبياً باتجاه الجنوب. وتحديد موضع السفينة يعني تحديد طول وعرض المكان الذي توجد فيه.

المنزل: وضع الشمس في يوم معين على الكرة السماوية في إحدى مناطق المجموعات البارزة للنجوم، أي البروج (القوس، الدلو، . . .).

مستوي الزوال: هو السطح (المستوي) المحدد بعمود المكان وبمحور دوران الأرض.

زاوية زوالية لجرم ما: قيمة الارتفاع الأقصى لجرم (هو الشمس غالباً) في نقطة معينة وفي يوم معين. وهي تسمح بحساب سهل لعرض موضع السفينة. وهذا مفيد خاصة عندما تكون الطريق البحرية شمالية جنوبية بشكل ملموس.

الميل البحري: وحدة قياس المسافات تستخدم فقط في الملاحة البحرية أو الجوية. وهي المسافة بين نقطتين لهما الطول نفسه، بحيث يكون الفارق بين عرضيهما مساوياً لدقيقة. وهكذا يساوي الميل البحري ما يقرب من ١٨٥٢ متراً.

ملاحة أعالي البحار: هي الملاحة في البحر بعيداً عن اليابسة (دون رؤية الأرض والإشارات).

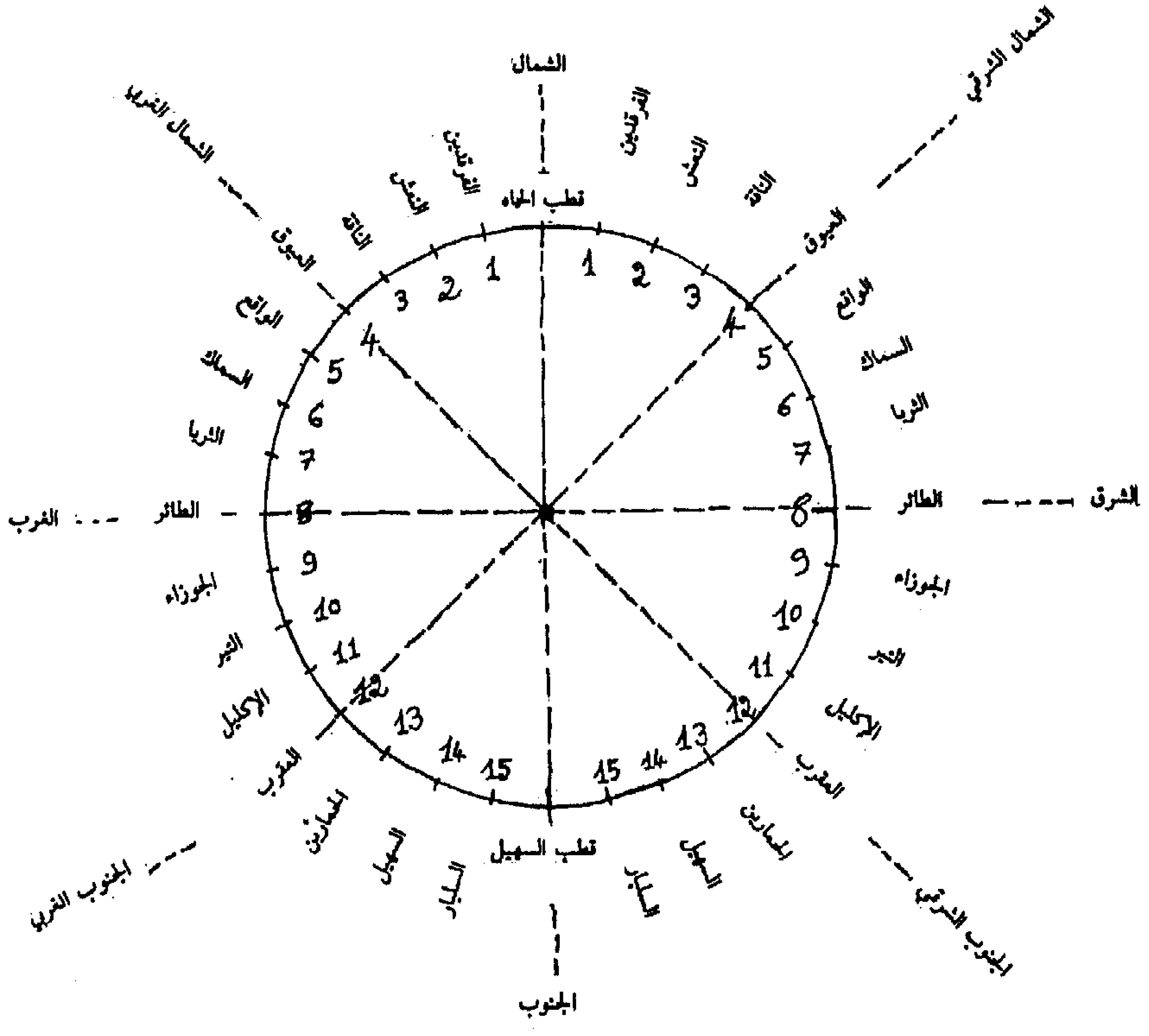
الجوش: الزاوية السفلية الأمامية للشراع.

الدامِن أو الدامَن: الزاوية السفلية الورائية للشراع.

مبادرة الاعتدالين: حركة مخروطية كثيرة البطء لمحور دوران الأرض حول موضع وسطي عمودي على مستوي فلك البروج.

ريح دافعة: ريح تهب من وراء السفينة فتدفعها إلى الأمام.

الخِنّ: هو أحد أجزاء دائرة الرياح التي تقسم إلى ٣٢ خناً، فيكون الخن مساوياً لـ 15′ ;11°. أما دائرة الرياح فهي دائرة مرسومة على ميناء الحُقّة (أي البوصلة أو بيت الإبرة). ويتم، بواسطة الأخنان، تحديد وجهات الرياح الاثنتين والثلاثين. تسمى هذه الوجهات بأسماء النجوم، وتقسم إلى مشارق ومغارب. وهي ممثلة على دائرة الرياح كما يلي:



الشكل رقم (٧ ــ ١)

دائرة الرياح العربية مع أسماء وجهات الرياح.

رابعاً: مبادىء الملاحة الفلكية الحديثة

سنلقي فيما يلي نظرة على الطرائق المهمة التي كان البحارة يستخدمونها لتحديد موضع السفينة حوالى سنة ١٩٥٠، أي قبل اللجوء إلى الاستعمال المكثف للأجهزة اللاسلكية الكهربائية في الملاحة. وهذا ما قد يعطي القارىء غير المطلع على المعارف الملاحية بشكل خاص، صورة أوضح عن المستوى التقني لمعاصري ابن ماجد.

١ ـ الملاحة على مرأى من اليابسة

يقام بعملية تثليث لتحديد موضع السفينة بشكل صحيح. وذلك بقياس زوايا السمت لثلاث إشارات (إذا أمكن) بواسطة البوصلة، وبنقل النتيجة على الخريطة للحصول على مثلث. ويجب أن يكون هذا المثلث صغيراً بقدر المستطاع لكي يكون تحديد موضع السفينة جيد الدقة.

٢ ـ الملاحة على غير مرأى من اليابسة

إذا كانت السفينة تجري وسط الضباب، أو ليلاً بمحاذاة ساحل من دون أضواء أو في أعالي البحار، يرسم مسارها استناداً على آخر نقطة أكيدة بواسطة التقدير أو «القطع» حسب تعبير ابن ماجد. فتصبح وجهة السفينة وسرعتها (على سطح البحر) مقدرتين، وكذلك تقدّر وجهة وسرعة الريح ووجهة وسرعة التيار عند اللزوم. إن هذه النتيجة تقريبية، بطبيعة الحال، ويجب التحقق من صحتها عندما تسنح الفرصة بواسطة الرصد: رصد الإشارات على الساحل عندما يصبح الشاطىء مرئياً، أو رصد الأجرام السماوية.

تستخدم، عادة، في الملاحة الفلكية طريقتان.

يتم تحديد موضع السفينة بواسطة القياسات التي تجرى على ثلاثة أجرام سماوية معتبرة كإشارات. ويحدد ارتفاع كل جرم بواسطة السدسية، ويستنتج من ذلك، بواسطة الازياج البحرية، ملتقى هندسي للنقاط التي يرى منها الجرم بالارتفاع نفسه في اللحظة نفسها. ويمثل هذا الملتقى بشكل تقريبي على الخريطة بخط مستقيم. فإذا قيست في آن واحد ارتفاعات ثلاثة أجرام متباعدة عن بعضها البعض بـ $120°$ إذا أمكن، نحصل على مثلث، كما رأينا في حالة الإشارات. ويرتبط اتساع المثلث، وبالتالي ترتبط دقته، بدقة القياس المنجز على السدسية. وهذا ما يتعلق بأمور عديدة منها وضوح الجرم، ووضوح خط الأفق (ليلاً، أو نهاراً وسط الضباب) وانعكاس الضوء وثبات السفينة وثبات يدي مدير السدسية... الخ. ومجمل القول ان دقة هذا القياس غير محققة.

أما بالنسبة إلى المسارات البحرية الشمالية الجنوبية، فالمهم هو تصحيح القيمة المقدرة

للعرض (إلا في حالة وجود تيار قوي مائل). إن أسرع طريقة متبعة لأجل ذلك هي الطريقة الزوالية التي نعرضها فيما يلي. يصوب مدير السدسية آلته نحو جرم سماوي في لحظة مروره بالأوج اليومي (حسب الأزياج) في مستوي زوال المكان المعين. ويقيس ارتفاع الجرم، فيحصل بحساب بسيط على عرض مكان الرصد. إن هذه الطريقة أكثر دقة، بشكل عام، إذا طبقت على الشمس عند الظهر الحقيقي، وخاصة للارتفاعات المعتدلة (التي هي أقل من 45°).

وهكذا تتضح لنا الآن الأهمية التي يعلقها البحارة في كل العصور على رصد الإشارات وعلى قابلية الرؤية وعلى ارتفاع الأجرام السماوية وعلى زاوية الزوال.

كان معاصرو ابن ماجد والمهري يستخدمون، استناداً على نفس هذه العناصر، طرائق أقل بساطة من تلك المعروضة أعلاه. لم يكن لديهم سبيل، في أول الأمر، إلى تحديد موضع السفينة على الخريطة، لأن هذه الأخيرة («دليل السواحل») كانت شبيهة بالخرائط البحرية الحالية ذات السلم الكبيرة (تسمح هذه الخرائط برسم مسار تقريبي ينقل بعد ذلك على خرائط تفصيلية ذات سلم صغيرة). وكان البحارة، في الملاحة على مرأى من الساحل، يستخدمون تقديراتهم الخاصة (السرعة، فترة الانسياق مع التيار) التي كانوا يقارنونها بالنصوص (كأشعار ابن ماجد مثلاً) المستخدمة كتعليمات بحرية: «... للذهاب من عدن إلى غوا خذ الاتجاه كذا حتى النقطة كذا حيث تجد ريحاً بوجهة كذا في وقت كذا من أوقات السنة. خذ عند ذلك وجهة كذا إلى أن تقيس ارتفاع كوكب معين بقيمة كذا الموافقة لمكان الرسو في غوا. عندئذ انحرف نحو الشرق لتعويض ابتعادك عن المسار المضبوط، تبعاً لارتفاع الكوكب المقاس كل ليلة. إبدأ بعد فترة كذا من اتباع المسار إرم البلد (أي اسبر عمق البحر)...».

وهكذا نرى أن مفهوم النقطة الحديث لم يكن ملائماً بسبب نقص المستندات الدقيقة: الخرائط وآلات القياس، والأزياج. لقد أوصل ابن ماجد، بالرغم من ذلك، فاسكو دو غاما، عن طريق البحر، من ماليندي إلى كاليكوت (بالقرب من موقع ماهي، المحطة التجارية الفرنسية القديمة) بعد رحلة دامت ثلاثة وعشرين يوماً.

خامساً: مصادر الدراسة الخاصة بعلم الملاحة العربي

لقد وضحنا أعلاه أن هذه الدراسة لا تهدف إلى عرض تفصيلي للمعارف العربية في الملاحة، بل إلى تلخيص تجارب ملاحين عربيين. لقد جرت هذه التجارب في القسمين الشمالي والغربي من المحيط الهندي ـ وتعدى ميدانها هذه المنطقة بالنسبة الى ابن ماجد ـ خلال الفترة الممتدة بين سنة ١٤٥٠ وسنة ١٥٥٠ ميلادية. وقد اعترف ابن ماجد نفسه، وهو أبرز الذين تمكنوا من هذه المعارف، بنسبية هذه الأخيرة. ونصح مواطنيه في المحيط

الهندي، وذلك نتيجة لتعاونه مع البرتغاليين على الأرجح، باتباع مدرسة الفرنجة التي بدأ يأتي منها العلم والفن في الملاحة.

كان الجانب التقني من هذه التجارب مبنياً بشكل أساسي على الملاحظة والاختبار والتطبيق العملي. وقد عرضت هذه التجارب بالتفصيل في عدة مخطوطات محررة بين سنة ١٤٦٠ وسنة ١٥٥٠ تقريباً. ولقد حصلنا على نسخات من هذه المخطوطات الأصلية، واستخلصنا منها أكثر الشروحات التي تشكل مادة هذا المقال.

كان ابن ماجد والمهري كلاهما ربانين. وصل الأول إلى قمة فنّه سنة ١٤٩٦ (حملة فاسكو دو غاما التي ربما كان ابن ماجد قائدها) وعاش اقتحام البرتغاليين لـ «البحيرة العربية». أما المهري فهو تلميذ للأول. وقد توفي، وفقاً لمختلف الفرضيات، بين سنة ١٥١١ وسنة ١٥٥٤ ميلادية، لذلك يصعب تعيين تاريخ مؤلفاته وخاصة أن بعض هذه المؤلفات يتضمن استشهادات لبعضها الآخر.

١ ـ المخطوطات المستخدمة

لقد استندنا على ثلاث مخطوطات:

ـ نسخة عن المخطوطة ذات الرقم ٩٩٢ لإبن ماجد (من ٨٢ر إلى ١٠٦ر، الدراسات الشرقية لأكاديمية العلوم في بطرسبرج).

ـ المخطوطة ذات الرقم ٢٢٩٢ في المكتبة الوطنية في باريس؛ وهي تحوي مؤلفات لابن ماجد.

ـ المخطوطة ذات الرقم ٢٥٥٩ في المكتبة الوطنية في باريس؛ وهي تحوي مؤلفات لابن ماجد وللمهري.

ليست هذه المخطوطات إلا نسخات عن مخطوطات أخرى أصلية. وهي تتضمن بعض الفروقات فيما بينها (عندما تكون المقارنة ممكنة بين نصين). وقد ذكرت فيها أسماء كتب ما زالت مجهولة حتى اليوم.

٢ ـ مصنفات أخرى لعلم الملاحة العربي

كان المحيط الهندي ميداناً للّقاءات المتكررة وللتعاون والتبادل أيضاً، بين البحارة. لذلك فإن حدود «المعارف العربية» في الملاحة غير واضحة بالدرجة التي يتمناها المرء: هل يكون قسمٌ مهم من هذه المعارف مأخوذاً عن البحارة الصينيين؟ هل استعانت المؤلفات البرتغالية الملاحية، الكثيرة في القرن السادس عشر، جزئياً بما تركه ابن ماجد ومعاصروه؟

ويمكن أن نقول أيضاً إن علم الملاحة يتجاوز العصور ويسمو فوق التبعيات. إنه كنز

مشترك مأخوذ عن الأسلاف والمنافسين تنميه كل الأجيال. لكن تفوق البحارة العرب، في المحيط الهندي طيلة عدة قرون، يعزز في هذا العلم مكانة المعارف التي نقلها ابن ماجد والمهري.

ونلاحظ من ناحية أخرى أن أغلب مؤلفي الكتب، المنشورة باللغة العربية في القرن العاشر، من أصل أجنبي. وتشير كتب الملاحة العربية بنفسها إلى الاختلافات بين العرب والهرموزيين والهنود... وكانت كتب الفلك المسماة بكتب السند معروفة في بلاد الأندلس قبل زمن ماركوبولو. وقد أشار هذا الأخير إلى طرائق البحارة في الشرق الأقصى وإلى الوثائق التي كانت بحوزتهم. كما كانت هناك خرائط صينية وجاوية.

وهكذا يتوجب علينا أن نقارن بين الكتب الملاحية العربية وكثير من الكتب الملاحية الأخرى. لقد استفاد البرتغاليون من كل هذه المراجع التي وجدوها، وأغنوها بملاحظاتهم الخاصة: «هناك أكثر من ٤٧٠٠ وثيقة كتبت كلها تقريباً باللغة البرتغالية، خلال الفترة القصيرة الممتدة من سنة ١٥٣٨م إلى سنة ١٥٥٢م، ولم تزل بمجملها غير منشورة» (وهذا النص مأخوذ من كتاب ج. أوبين: **بعض الملاحظات حول دراسة المحيط الهندي خلال القرن السادس عشر**).

وهكذا يجب أن ترتكز دراسة تعليمات ابن ماجد والمهري على المقابلة بين مجموعة من النصوص المكتوبة في أزمنة مختلفة.

٣ ـ مناقشة المراجع

سنقوم فيما يلي بشرح تعليمات ابن ماجد والمهري. وسيتضمن شرحنا في بعض الأحيان تساؤلات حول أصالة المخطوطات، أي حول مطابقتها للنسخات الأصلية. لذلك يجب علينا في أول الأمر أن نحل مشكلة المصطلحات اللغوية.

لقد حررت هذه التعليمات بعبارات كثيرة الغموض حسب رأينا، مع أن هذه العبارات أكثر دقة من بعض المصطلحات المستخدمة حالياً. وقد حافظت بعض المصطلحات على نفس المدلول قديماً وحديثاً بفضل ثبات اللغة العربية عبر العصور. فكلمة «الجوش» لم يتغير مدلولها قديماً وحديثاً. وكذلك هي الحال بالنسبة إلى كلمة «الدامن». والأمثلة على الغموض في معاني المصطلحات كثيرة، فاليمين واليسار، مثلاً، يدلان على الاتجاه نفسه في بعض الحالات.

ولكن كيف يجب أن نقرأ ما كتبه ابن ماجد والمهري؟ وإلى أي حد يتوجب على القارىء المجرب أن يشكك بما يؤكدان؟ وقد يساعد التعرف على شخصيتي المؤلفين وعلى أعمالهما (لدينا لهما أكثر من أربعين من المؤلفات المتنوعة) في اتخاذ موقف من هذه القضية. ونشير بهذا الصدد إلى التحاليل المفصلة التي أنجزها ج. فرّاند (G. Ferrand)

وإبراهيم خوري، وج. تيبتّس (G. Tibbets)[1].

ينجذب القارىء البحار، في بادىء الأمر، بأسلوب المهري التعليمي الواضح المبسط، بينما يظهر ابن ماجد مدعياً مضطرباً. لكن التحقق العلمي من أقوال الكاتبين وتعوُّد ابن ماجد على ممارسة الملاحة يقودان القارىء، بعد ذلك، إلى النتيجة: لقد جاب ابن ماجد البحار أكثر بكثير مما فعل منافسه ابن المهري. ويمكن عندئذ أن يظهر لنا هذا الأخير كحكيم مندفع بحب الاطلاع على المسائل البحرية، لكنه ملاح رديء. أما ابن ماجد، فقد يظهر لنا بمظهر «القبطان ماريوس» المشهور بحديثه الدائم عن مغامرات بحرية لم يقم بها، لكنه بالتأكيد بحار ممتاز.

إن هذه الكتب، المخصصة كما يبدو لتكوين الربابنة، تضع القارىء أمام صعوبات عديدة، إذ يجد فيها، على سبيل المثال، قصائد يلمح فيها الكاتب بشكل غير واضح إلى التعليمات الملاحية. ويترك الكاتب للقارىء الخبير الحاد الذهن مسألة التكهن بالبقية.

وقد تساعد الاجتهادات في التفسير، من ناحية أخرى، في إغناء البحوث اللازمة لتقرير أصالة بعض النصوص، إذ نجد في السفالية مثلاً، وهي اسم أحد النصوص الملاحية الثلاثة الموجودة في المخطوطة ذات الرقم ٩٩٢، بعض الفقرات التي تبدو مزورة، وذلك بسبب أغلاط ملاحية فاحشة لا يمكن أن يكون ابن ماجد قد ارتكبها، ولا يمكن أن تعزى إلى سهوٍ من قبل الناسخ. وهناك نصوص أخرى تظهر فيها محاولات مماثلة لـ «تقليد ابن ماجد».

ونلاحظ أخيراً أن ابن ماجد، وهو الخبير التقليدي، يبقى صامتاً حول نظرية العرض المستخرج من الزاوية الزوالية (مع أنه يشير إلى جداول الميول الزاوية). أما المهري فهو يعرض بمهارة هذه النقطة، ولكنه ينسى أن يعدل صيغة الارتفاعات لتلائم المناطق الجنوبية: وهذا يدل على أنه لم يتجاوز خط الاستواء، مما يفسر بعض النتائج التي قدمها.

إن دراسة أعمال ابن ماجد والمهري تؤدي بنا إلى التساؤل حول موضع الحد الفاصل بين العلم والتجريبية. لقد قام ابن ماجد، وهو البحار التجريبي التقليدي، بتجارب حقيقية خلال فترة طويلة من الزمن. فهل يجب أن نضع هذين الربانين في مصاف رجال العلم؟ يمكننا بالتأكيد أن نعطي المهري صفة العالم المهتم بالمسائل الملاحية. أما ابن ماجد، فهو الحرفي التقليدي الذي بلغ قمة فنه، على الرغم من العيوب المؤكدة التي اعتورت شخصيته.

---

(١) انظر المراجع في بداية الفصل.

سادساً: وسائل الملاحة العربية

لن نقوم هنا بعرض كامل لعلم الملاحة العربي، بل بمحاولة تقدم جزئي في معرفة هذا العلم. وسوف يقتصر عرضنا في أغلب الأحيان على تخمينات، لأن نواقص هذا العلم نفسه كثيرة، وهو يخلو من التماسك العام.

ويجدر بنا أن لا نتخيل الملاحين العرب، وابن ماجد خاصة، يتصرفون كضابط البحرية الحديث المكلف بقياس مواقع الإشارات والنجوم، حتى ولو كان ذلك بالدقة النسبية التي كانت ممكنة في عصرهم، وبنقل القياسات على شكل مثلث على خريطة لتعديل الموضع المقدر للسفينة.

لقد استفاد ابن ماجد من تجربته الخاصة ومن تجارب من سبقه، فمارس ما يمكن وصفه بـ «التقدير المحسن». لم تكن الخرائط مستخدمة على الأرجح إلا كموجزات للمسافات بين الأماكن الأرضية، وللاتجاهات العامة للسواحل ولمواقع المرافىء. والسبب هو أنها لم تكن تسمح بأحسن من ذلك. وكانت ارتفاعات النجوم تساعد على تحديد موضع السفينة في منطقة معينة. وكان تحديد «التقدير» يتم بفضل «التعليمات الملاحية» وبفضل خبرة وحدس الربان. إن ثبات الرياح في المحيط الهندي وانتظام الرياح الموسمية فيه وسائر الحسنات الأخرى المذكورة آنفاً تزيد من فائدة التخمين الجيد لقوى واتجاهات الرياح والتيارات.

١ ـ القياسات المستخدمة

ما هي وسائل القياس التي كان يستخدمها العرب في عالم لم يكن قد حظي بالتأثير الموحد الذي أحدثه النظام المتري في مختلف العلوم؟ لقد استعملوا بشكل أساسي الأصابع والأزوام والترفات. وكما هي الحال في العصر الحديث، كان قياس الارتفاع يسمح بتحديد المسافة، وكانت الأزوام والترفات تحدد بالنسبة الى الأصابع. لكن مفهوم وحدة القياس الثابتة لم يكن مألوفاً في الأذهان في ذلك العصر. وهذا ما شكل عقبة كبرى. ولقد زاد من أهمية هذه العقبة فقدان آلات القياس ذات الدقة الكافية، مما أعاق تبني منهج علمي حقيقي. ولكن أهمية ثبات وحدة القياس ليست في الواقع إلا نسبية، إذ إن قيم التغيرات التي تطرأ عليها لا تتعدى دقة الأرصاد.

أ ـ الأصابع والذُبّان

كانت الأصابع تقاس بواسطة «الخشبات» (انظر الفقرة ٣ ـ الآلات ضمن هذا القسم

من هذا الفصل) التي كانت تسمح بقياس أقصى لا يتعدى 12 إصبعاً، أي ما يعادل 20 درجة. وهكذا لم يكن بالإمكان إلا قياس الارتفاعات المنخفضة.

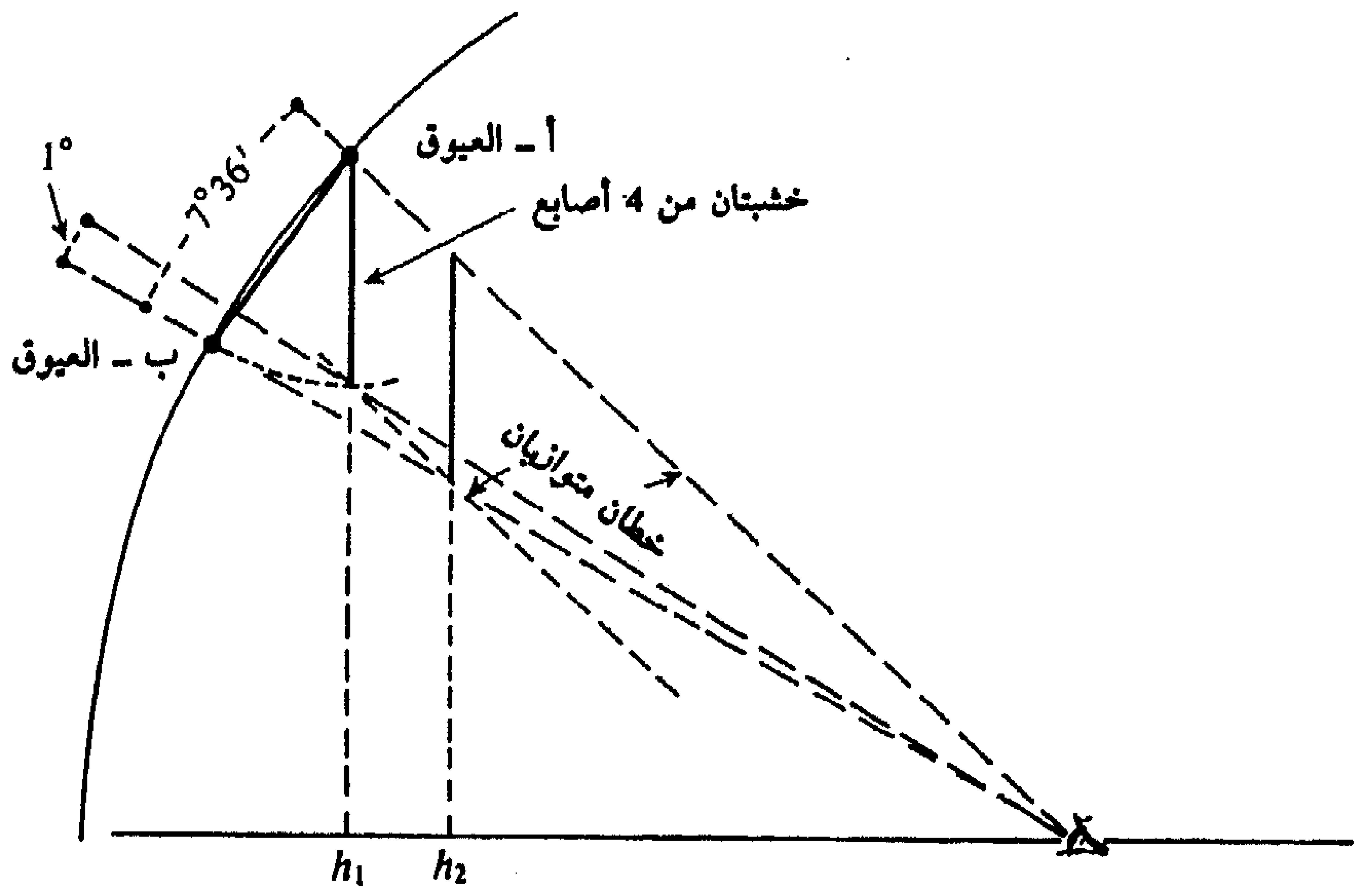
وقد تم استخدام الإصبع والشبر والذراع والقدم. . . كوحدات لقياس الطول من قبل العديد من المجموعات الإنسانية. ولكن أليس قياس «الأصابع»، وهي الزوايا الشديدة الدقة، على لويحات مهيأة بواسطة السكين، عملية صعبة التحقيق؟ إذ قد تصل قيم بعض الارتفاعات الدقيقة إلى أقل من 20 دقيقة (والحالات التي تقل فيها هذه القيم عن 5 دقائق ليست نادرة).

وهكذا يتم اللجوء إلى القياس اليدوي الذي يسمح بتعريف الذبان، وهو معيار تقريبي، يساوي زاوية تغطى بأربعة أصابع (كان البحارة في عصر ابن ماجد يستطيعون بالتأكيد الحصول على معيار الأصابع الأربعة بواسطة دوران النجم القطبي ـ لو كان قطره لا يتغير مع الزمن ـ وعلى كل حال كان يمكن الحصول على نظام للمراجع ثابت في السماء، إذ إن المسافات الزاوية بين أغلب النجوم تبقى ثابتة طيلة عدة قرون).

وردت كلمة الذبان كإسم لنجم يرى في نصف الكرة الأرضية الجنوبي، وكاسم لنجم آخر هو أ ـ العيوق (أي النجم الأكثر إضاءة في مجموعة العيوق). وهذا الأخير هو نجم ابن ماجد المفضل. يقول ابن ماجد: «العيوق. . له ذبان على شرقه وجنوب الذبان نجم على قدره يسمى ذبان الذبان». وتفصل هذين النجمين عن بعضهما مسافة أربعة أصابع.

ولكن ابن ماجد لم يشر أبداً بوضوح، إلى مقاييس الخشبات. وذلك بعكس المهري الذي قال ما معناه: إن خشبة الذبان القياسية توافق المسافة بين أ ـ العيوق والذبان عندما تكون هذه الأخيرة في أوجها في برج الأسد. أما الخشبات الأخرى فيجب تقسيمها حسب هذا المعيار لكي تكون صحيحة. إن الذبان وحدة قياس زاوية، لذلك هي تضمن نتائج أصح من تلك التي نحصل عليها بالقياس اليدوي.

تساوي المسافة الزاوية بين أ ـ العيوق وب ـ العيوق ′36 °7، أما المسافة الزاوية بين ب ـ العيوق وج ـ العيوق فهي ′42 °7. ونلاحظ عدم وجود مَثَل لقياسات دقيقة بواسطة الخشبات، إلا لنجوم موجودة في مستوٍ عمودي عند بلوغها ارتفاعاً معيناً. ونلاحظ أيضاً أن أ ـ العيوق وب ـ العيوق موجودتان في بلاد المهري في مستوٍ عمودي على ارتفاع يقارب °30. لذلك فإن قيمة الذبان محددة بشكل جيد وتساوي أربعة أصابع، حسب رأي



الشكل رقم (٧ ـ ٢)

(ملاحظة: النسب بين الأطوال مبالغ بها في هذا الشكل).

المهري على الأقل. وتبلغ هذه القيمة إذا قيست بواسطة الخشبات 6°؛40′ (انظر الشكل رقم (٧ ـ ٢)). وهي تنقص بمقدار درجة واحدة تقريباً عن القيمة الحقيقية (التي تبلغ 7°؛36′). وهذا يعني أن طول الذراع يتقلص من h1 إلى h2. ولقد قمنا بإدخال عدد من التعديلات على قيم الزوايا الزوالية (كما أوردها ابن ماجد) لبعض النجوم وذلك رغبة في الوضوح والوصول إلى معادلة بين الأصابع. ولقد أخذنا بعين الاعتبار، وفقاً للطرق الحديثة، الانكسار (تغيير اتجاه الأشعة عند اجتيازها لطبقات الجو)، والارتفاع الحقيقي (ارتفاع نقطة الرصد فوق البحر يؤثر على القيمة المقاسة لارتفاع النجم)، والنجم القطبي (النجم القطبي لا يوجد في اتجاه الشمال الحقيقي)، والارتفاع الحقيقي للنجم القطبي مع الزاوية الزوالية يسمح بحساب عرض المكان). تمكّن هذه النتائج الحسابية من وضع «جدول الأصابع» التالي:

عدد الأصابع	القِيَم	الفوارق	تصحيح انكسار الضوء	القِيَم الحقيقية لارتفاع النجم القطبي من عُلُوّ ٥م	التصحيح القطبي	ارتفاع النجم القطبي
1	2°54′		20′	2°34′	3°31,8	6°05,8
		1°39′				
2	4°33′		15′	4°18	3°31,8	7°49,8
		1°44,5				
3	6°17,5		12′6	6°04,9	3°31,8	9°36,7
		1°37,5				
4	7°55		11′	7°44	3°31,8	11°15,8
		1°30				
5	9°25		10,2	9°14,8	3°31,8	12°46,6
		1°42,5				
6	11°07,5		9,3	10°58,2	3°31,8	14°30
		1°42,8				
7	12°49,8		8,6	12°41,2	3°31,8	16°13
		1°30,5				
8	14°20,3		8,1	14°12,2	3°31,8	17°44
		1°25,6				
9	15°45,9		7,7	15°38,2	3°31,8	19°10
		1°29,8				
10	17°15,7		7,5	17°08,2	3°31,8	20°40
		1°44,6				
11	19°00,3		7,1	18°53,2	3°31,8	22°25
		1°22,5				
12	20°22,8		6,7	20°16,2	3°31,8	23°48

الجدول رقم (٧ ـ ١)

قِيَم الأصابع بالدرجات مع العُروض (أو ارتفاعات النجم القطبيّ) الموافقة لها.

لقد استخدمنا أرصاد النجوم التي أوردها ابن ماجد، وتركنا جانباً الأرصاد غير المؤكدة التي أوردها المهري بالرغم من المزايا العلمية لهذا الأخير (إلا عند توافقها مع أرصاد ابن ماجد).

إن هذا الجدول نتيجة لعدد كبير من المقابلات بين الزوايا الزوالية لنجم القطب الشمالي خاصة ولنجم القطب الجنوبي ولنجم أ ـ النهر (السلبار)، ولبضعة نجوم أخرى مزوجة ومعتبرة شبه زوالية. إن معدل القيم بين الدرجة الثانية والدرجة الثانية عشرة يساوي 1°36′ وهو العدد الذي أعطاه البرتغاليون. أما الكبر الزائد للإصبع الأول فيمكن إرجاعه إلى عدم وضوح الأفق ليلاً، إذ إنه يدفع إلى المبالغة في رفع الخشبات فوق الأفق، للتمكن من التمييز جيداً بين الأفق والقسم الأسفل من الخشبات. وتبدو هذه الفرضية مؤكدة، إذ إن القياسات الخاصة بالنجوم المزوجة الكبيرة الجنوبية، تزيد عن القيم الحقيقية بشكل مفرط

(بمقدار يصل إلى الدرجة في بعض الأحيان). إن الإرتفاعات الكبيرة لهذه النجوم لا تسمح بقياسها بواسطة الطريقة الزوالية، وذلك أنه ينبغي قياس السهيل والمعقل، حسب قول ابن ماجد، في الإقليم الأول الشمالي، في ضوء القمر، وفقاً للترتيبات الخاصة بنجوم الجنوب. إن وضوح خط الأفق في ضوء القمر يجنب بالفعل الإفراط في رفع الخشبات، وبالتالي المبالغة في قيمة الارتفاع.

يفاجأ القارىء العصري بعدم تساوي الأصابع في هذا الجدول، ولكن العرب في ذلك العصر لم يطرحوا للبحث قضية اختلاف الأصابع في القيمة. وقد يسمح التحليل الدقيق للنصوص بتصحيح بعض قيم الارتفاعات فقط، ولكنه لا يسمح بتصحيحها كلها، لذلك فضلنا عدم إدخاله في هذه الدراسة خوفاً من إثقالها دون رفع قيمتها.

ب ـ الأزوام

الزام هو الوحدة التي كانت مستخدمة في حساب المسافات المقدرة. وقد عرفه المهري بشكل واضح: «الزام على قسمين عرفي واصطلاحي. فالعرفي هو قطع جزء من ثمانية أجزاء من مسافة يوم وليلة. والاصطلاحي هو قطع جزء من ثمانية أجزاء من مسافة ارتفاع كوكب أو انحطاطه إصبعاً بِجَزْيِك إليه أو عنه فرضاً أو استعمالاً. . .».

ويصف المهري، في نص آخر، الزام المقاس بأنه «حقي» (وهذا صحيح إذا تم القياس باتجاه خط الزوال، والمهري كان على الأرجح واعياً لذلك؛ أما ابن ماجد فكان يعتقد في بداية تجربته أن القياس صحيح مهما كانت قيمة زاوية سمت النجم، شريطة أن يكون النجم في اتجاه محور السفينة، وهذا غير صحيح رياضياً). ويوضح المهري أن الزام العرفي يتطلب رياحاً ثابتة ذات قوة متوسطة، ولكنه لا يشير إلى «الزام الجامع» الذي يتحدث عنه ابن ماجد بكثرة، وخاصة على الشكل التالي بما معناه: القيمة الصحيحة للزام الجامع تفوق قيمة زام الطرقات ومقدار المسافة المقطوعة فعلياً. وهذا ما يجعلنا نشك بصحة بعض المسافات المقدرة.

أراد ابن ماجد أن يعرف «الزام الجامع» كوحدة قياسية، فهو يقول ما معناه: هذا هو عدد الأزوام في مدة ثلاث ساعات من الملاحة العادية؛ وعلى القارىء أن يعد له عند اللزوم.

وهكذا نرى أن «الزام الجامع» قريب من «الزام العرفي» الذي تكلم عنه ابن المهري، ولا سيما أن ابن ماجد يميز أيضاً بين الزام الطويل والزام القصير، مع العلم أن الزام الطويل يتحقق عندما يكون البحر تام الهدوء ومن دون تيارات.

ولكن استخدام ابن ماجد لهذه العبارات عند كلامه عن بعض المناطق وفقاً للأقاليم الحاوية لها، هو الأقل توقعاً منه.

يربط ابن ماجد في مقطع ورد في **دريبة الدرائب** بين تغيرات ارتفاعات بعض النجوم وهذه المسافات (التي هي من المفروض أن تقاس بواسطة الرصد الفلكي، بعيداً عن خط الزوال، وهذا ما يفرض الحصول على مركبة في الطول!). يقول ابن ماجد في هذا المقطع ما معناه: إن المسافة المقدرة للخن الأول طويلة... لا نحسبها من هدماتي إلى ملوك (من 2°35′ إلى 1°50′ شمالاً في جزر المالديف) كما حسبناها من باب المندب إلى الزقر، أو كما حسبناها من موروتي إلى براوة (الصومال الشرقية).

توجد اختلافات كبيرة بين المسارات المذكورة أعلاه. فأقصر مسار بينها موجود في الصومال، حيث تهب الرياح الموسمية الندية المنتظمة من الشمال الشرقي، مع تيار قوي دافع. هذه الرياح موجودة طيلة فترة طويلة من السنة تصلح خلالها الملاحة في تلك المنطقة. أما المراكب الشراعية فتبحر جميعها في بداية الرياح الموسمية الجنوبية الغربية لأنها تكون خفيفة، فتتجنب التعرض لها عندما تصبح عنيفة فيما بعد.

ولقد زاد تعدد المسارات المذكورة من قبل المؤلفين من الغموض في تعريف وحدة القياس. يقول ابن ماجد مثلاً ما معناه: من نقطة معينة في الصومال إلى عدن هناك 20 زاماً، أو أقل من ذلك أحياناً إذا كان الطقس صافياً وكانت الرياح الموسمية شرقية.

وهذا ما يبين أن المسافات لم تكن تقاس بالضرورة بين الخط العمودي لنقطة الانطلاق والخط العمودي لنقطة الوصول. ولم يكن لذلك تأثير سلبي على قياس المسارات الطويلة، بل إن ذلك يقدم لنا في بعض الأحيان تفسيراً لقيم السرعة التي تتعدى الحد المعقول في بعض المسارات القصيرة.

تتحدث المخطوطات الثلاث: **الدريبة** (وهي غير مؤرخة) **والذهبية والحاوية**، بطريقة مشابهة لما سبق، عن المسافات المقاسة بالزامات المتغيرة (غير المقبولة كما نعرف لأنها لا تأخذ بعين الاعتبار إلا تغير العرض). لقد كتب ابن ماجد **الحاوية** في بدء عهده بالمهنة، وتكلم عن كبر سنه في بداية **الدريبة**. فهل استمر في ارتكاب نفس الغلطة طوال ممارسته للمهنة؟ ولم يفهم العلاقة التي تربط الارتفاع بالطول؟

إن العلاقة بين المسافة والوقت نسبية، ولكن هذا لا يقلل من احتمال كون الزام النظري الموافق لثمن الإصبع، مساوياً حسب تقديرنا لاثنتي عشرة عقدة.

أما المهري فقد حدد «القيمة الرياضية للزام»، بالنسبة الى الإصبع، قائلاً ما معناه: إن علماء الفلك يعرفون جيداً أن دورة النجم القطبي (التي هي عيار مساوٍ لأربعة أصابع بالنسبة الى البحارة) تساوي 6 درجات و6/7 الدرجة (وهذه القيمة صحيحة لسنة ١٥٠٥م). لذلك فالإصبع يساوي درجة واحدة و5/7 الدرجة، والدرجة تعادل ثلثي الزام. وهذا ما يعطي قيمة مقبولة للزام الواحد تساوي 12,82 عقدة.

ج ـ الترفات (والانحرافات)

الترفة هي المسافة التي ينبغي قطعها في خن معين لكي تتغير قيمة الزاوية الزوالية بمقدار إصبع واحد.

هنا أيضاً نجد أنفسنا أمام مفهوم غير مقبول، وهو مفهوم الوحدة ذات القياس النسبي. لكن هذا المفهوم كان يبدو طبيعياً في ذلك العصر في بيئة الملاحين التي تعودت الاعتماد فقط على ملاحظة المعطيات المحسوسة بعيداً عن التجريد.

وكانت الترفات تصنف حسب ميلها بالنسبة الى خط الزوال، أي حسب اتجاه السفينة: الترفات الأقل ميلاً (من خن واحد إلى خمسة أخنان) كانت تسمى **الرحويات**، أما الأخرى فكانت تسمى **الصقاقات**. ولقد ذكرها ابن ماجد على الأخص عند كلامه عن الطرقات البحرية ذات الاتجاهات القريبة من الغرب أو من الشرق (أي عند كلامه عن القيمة المشكوك بصحتها للمسافة المقدرة لبعض الاتجاهات) فقال ما معناه: تقديرات **الرحويات** أفضل، وخاصة إذا تلاءمت مع الرصد، أما بالنسبة الى الصقاقات، فالارتفاعات وحدها هي الأفضل. وهذا ما هو منطقي بشكل كافٍ بسبب عدم جدوى رصد الزاوية الزوالية عندما ينحرف الاتجاه نحو الشرق أو نحو الغرب.

لنذكر أيضاً المناكب («الانحرافات» و«المائلات»)، أو الوجهات الموجودة بين الوجهات الرئيسة المتعارف عليها في أوروبا) التي تمثل المسافات بين خط الزوال والنقط الموجودة في اتجاه الشرق أو الغرب.

لقد جمعنا في جدول الترفات الوارد أدناه قيم المسافات المقدرة التي وجدناها مبعثرة في مؤلفات ابن ماجد والمهري:

الخن	القيمة الصحيحة	القيمة القديمة	ابن ماجد	القيمة الواردة في «التحفة»	القيمة الواردة في «شرح التحفة»	المهري
القطب	٨	٨	٨	٨	٨	٨
الأول	٨,١٦	١٠	١٠	٩	٩,٦	١٠
الثاني	٨,٦٥	١٢	١٢	١٠	١١,٤	١٢
الثالث	٩,٦٢	١٤	١٤	١١	١٣,٤	١٤
الرابع	١١,٣٢	١٦	٦ إلى ١٦	١٢	١٦	١٦
الخامس	١٤,٤	١٨ إلى ٢٠	١٨ إلى ٢٠	٢٠	٢٠	١٩

يتبع

تابع

السادس	٢٠,٩	٢٢ إلى ٢٥	٢١ إلى ٢٥	٢٠	٣٥	٢٤
السابع	٤١	٣٠ إلى ٤٠	٣٠ إلى ٤٠	٣٥	٤٢	٤٠
بين السابع والثامن	٨٣	٣٠ إلى ٥٠	٤٠ إلى ٥٠	٦٦	٧٢	؟
الثامن	لانهاية	٤٠ إلى ٦٠	٥٠ إلى ٦٤	لانهاية	لانهاية	لانهاية

الجدول رقم (٧ ـ ٢)
الترفات (المحسوبة بالأزوام).

كنا نتوقع أن تتضح في هذا الجدول دون التباس رؤى هذين المؤلفين النظرية للأشياء. غير أننا نفاجأ بالقيمة المحدودة المعطاة للترفات باتجاه الشرق أو الغرب، إذ إنها لانهائية.

لقد رأينا أعلاه أننا لا يمكن أن نؤرخ بدقة مؤلفات المهري، وبالتالي لا يمكن أن نحكم على كيفية تطور تجربته. وهو يكتفي غالباً برواية المعلومات المأخوذة عن مختلف البحارة دون أن يتحقق من صحتها. وقد عرض في **شرح التحفة** أرقام المدارس المختلفة، بما فيها تلك الخاصة ببحارة كورومندل (الشاطىء الشرقي للهند). وهذه الأرقام تقريبية مع أنها تستند حسب ما يقول على ربع الدائرة المهملة من قِبَل البحارة.

وكان قد صحح الأرقام الخاصة بالأخنان الأربعة الأولى، مقدماً إياها على شكل كسور تقريبية، ومستخدماً طريقة أرباع الجيب. نستنتج من هذا الجدول أن القيم الخاصة بالأخنان الأربعة الأولى هي الأقل خطأً فيه. ولكن مقارنة أرقام هذا الجدول بأرقام بحارة كورومندل، تظهر بعدها الواضح عن الصحة، فيما عدا الرقم الخاص بالخن السابع (والمهري لا يعطي أي قيمة للخن الذي يليه). ولا يمكن أن نضع على عاتق النساخين وحدهم مسؤولية تراكم هذه الأخطاء، بل نؤكد بأن خبرة المهري العلمية (مع أنها خبرة حقيقية في المسائل البحرية الأخرى) لم تمكنه من حل هذه المسألة البسيطة، وذلك على الرغم من أنه بنى على الأرض دائرة للرياح لتوضيح هذه المسألة، وجعل الأشخاص يسيرون على الأخنان المرسومة مادياً.

٢ ـ الخرائط

لم تشر المخطوطات إلا ببضع كلمات إلى الأزياج وإلى استخدام الخرائط التي لم تذكر أبداً في النصوص، وقد ضاعت بأكملها، ولكن البرتغاليين قد رأوا بعضها). وكان البحارة يجوبون المحيط الهندي، حوالى سنة ١٥٠٠م، دون استخدام الخرائط ودون

استخدام الأزياج، بل كانوا يعتمدون على تقويم تقريبي وعلى تعليمات بحرية كثيرة، بالإضافة إلى تجاربهم الخاصة.

وقد لا تكون للخرائط، على الأرجح، أية فائدة بالنسبة إليهم في تحديد موضع السفينة. وذلك لأن الخطأ الممكن ارتكابه في قياس المسافات بين السواحل أكبر من الخطأ الممكن ارتكابه في تقدير الموضع بعد تصحيحه وفقاً للأرصاد الفلكية.

تشكل مخطوطات ابن ماجد والمهري نماذج عن التعليمات الملاحية التي كان البحارة يستخدمونها في ذلك العصر. وهي تعطي المسافات البحرية (مخطوطات ابن ماجد تعطي المسافات الأرضية أيضاً) الموافقة للارتفاعات المختلفة المقاسة بالأصابع. فإذا استخدمنا قيم هذه المسافات لتحديد مواضع الأمكنة على الخريطة بالنسبة الى خط الزوال الأولي، نجد توافقاً حسناً مع الطرق الساحلية (وهذه ظاهرة مدهشة نظراً للفوارق بين قيم الاتجاهات الواردة في هذه المخطوطات وبين قيمها الحقيقية)، بينما نجد أحياناً بعض التنافر في التفاصيل بخصوص منطقة معينة كـ «خليج البربر» مثلاً. والخريطة على الشكل رقم (٧ ـ ٣) التالية تسمح بمقارنة رسم السواحل المأخوذ من مؤلفات ابن ماجد والمهري مع الرسم الحقيقي.

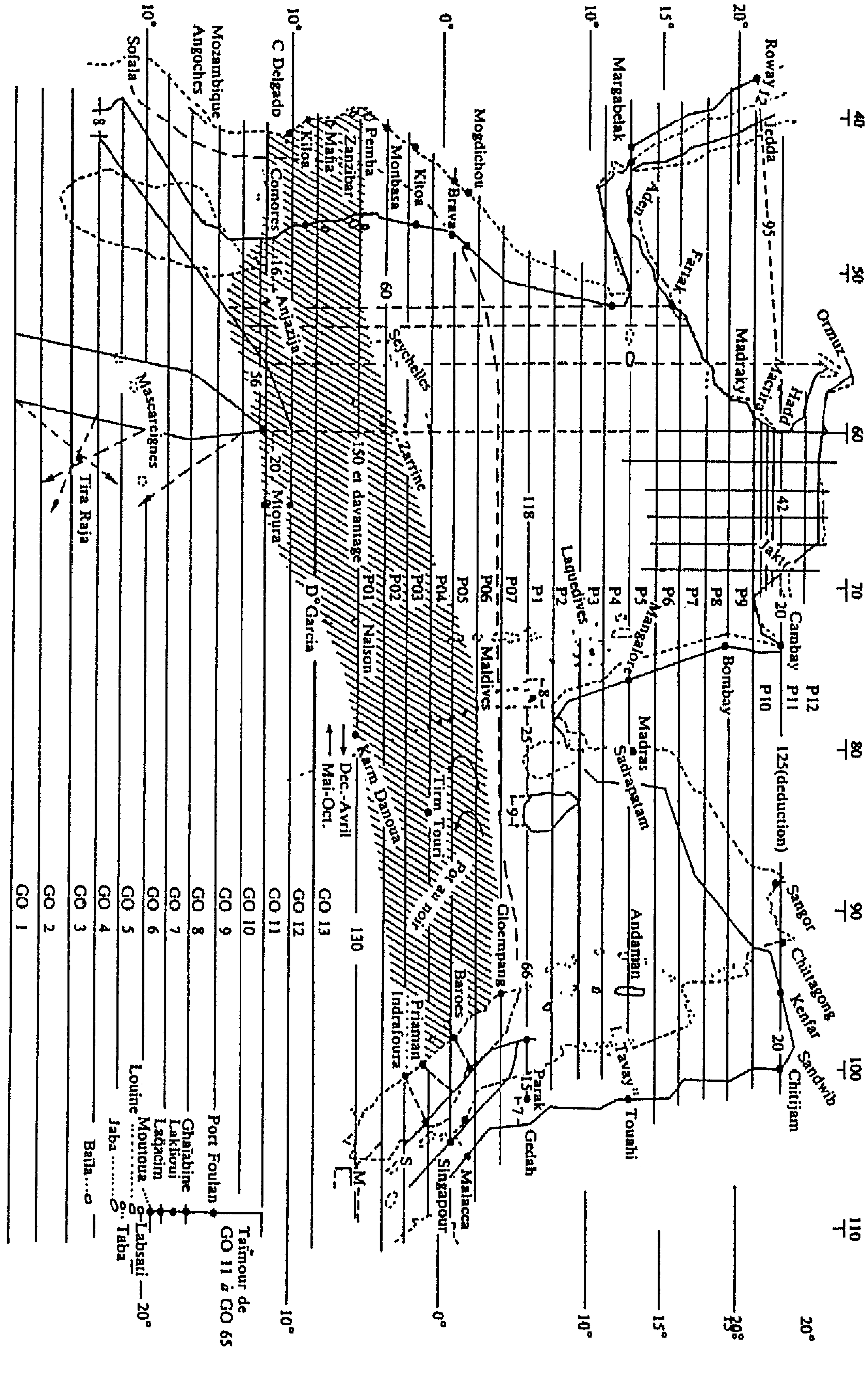
لقد رتب المهري المسافات بشكل منطقي، وهذا ما فعله ابن ماجد من حين لآخر. وفي بعض الأحيان يتمم عمل أحدهما عمل الآخر، مع بعض التضارب في النتائج عندما يدرسان نفس المناطق البحرية. لم يكن من السهل تنسيق كل شيء. وأحسن مثال على ذلك يخص ارتفاع خمسة أصابع للنجم القطبي بين برغملة بالقرب من عساب وتواحي في برمانيا.

تظهر الأخطاء في حسابات العرض، على الخريطة، المناطق التي كانت مجهولة من قبل العرب. نذكر من هذه المناطق، أولاً، أستراليا (تيمور) المرسومة على شكل خط عمودي في موضعٍ مفترضٍ (دون إشارة إلى المسافات) تم تعيينه أحياناً في زمن غير بعيد نسبياً.

أما جزيرة مدغشقر فقد رسمت على شكلين. يظهر أحدهما الشاطىء الغربي فقط، وقد رسمه ابن ماجد.

يبدأ الغموض في الشرق الأقصى بعد ملقّة مباشرة. فالشاطىء الغربي لسوقطرة يتضمن أخطاء هامة. والفارق بين الموقع الذي حدده المهري لجزيرة لاسوند (La Sonde) وبين الموقع الذي أعطاه ابن ماجد لنفس المكان يبلغ إصبعين. أما بالي فهي مرسومة دائماً غرب جاوا.

والغموض موجود أيضاً، ولكن بدرجة أقل، شمال الخط الواصل بين سيلان ونيكوبار. وذلك لأن قلةً من العرب ترتاد البنغال وسيام وشرق الهند، كما يقول ابن ماجد.



الشكل رقم (٧ ـ ٣)

أما وجود الجزيرة الخرافية ترم توري والغموض الخاص بجزر السيشيل وبجزر المسكراني، فيمكن تفسيره لأن المراكب الشراعية لم تجرؤ أبداً على الدخول فيما يسمى بـ «الوعاء الأسود». ألا تشهد الإزاحة في الطول، على الخريطة، التي تعرضت لها كَرْم دَنْوى (أو ديوا) كما تعرض لها شرق افريقيا، على الهجرات الحديثة نسبياً للإندونيسيين؟

وقد صحح ابن ماجد في كتابه **قبلة الإسلام** بعض المفاهيم التي كانت رائجة في عصره. إن التحقق من الاتجاهات التي اعتمدها يثبت صحة عناصر الخريطة الواردة في الصفحة التالية (إلا بالنسبة الى الأماكن البعيدة عن البحر وبالنسبة الى مدغشقر ذات الشاطىء المفرط في الامتداد).

وهكذا نرى أن هذه الخرائط كانت متضمنة لأخطاء جسيمة. ولم تذكر المخطوطات شيئاً عن الاستخدام الفعلي لهذه الخرائط في البحر. ويبدو أن الجغرافيين العرب كانوا يجهلون كل شيء عن خرائط البحارة هذه. ونحن نعرف هذه الخرائط بكونها خرائط بحارةٍ لا خرائط بحرية. فقد رسمها أناس بسطاء. ولكن يجب الاعتراف بفضلها، على الرغم من عيوبها. وذلك أن وجودها تحت تصرف البحارة في ذلك العصر الذي سبق انتشار الخرائط الإيبيرية، كان يعطيهم صورة تقريبية عن المناطق التي كانوا يتجولون فيها، بدلاً من الاعتماد فقط على التقاليد المتناقلة فيما بينهم.

٣ ـ الآلات

أ ـ البوصلة (وانحراف اتجاه الإبرة)

ما زال البحارة في العصر الحديث يستعملون البوصلة، المسماة بالبيكار (compas) من قبل البحارة الفرنسيين وغيرهم، إلى جانب الأجهزة اللاسلكية. وذلك عند وجودهم بعيداً عن الإشارات الساحلية التي تمكن من تحديد الاتجاه. وقد وردت كلمة بيكار بهذا المفهوم بقلم ابن ماجد عند كلامه عن بحارة البحر الأبيض المتوسط.

يعتبر وجود الإبرة المغنطة داخل وعاء مؤكداً في ذلك العصر، مع أن لا أحد يستطيع توضيح التركيب الحقيقي لمثل هذا الجهاز (الذي كان يسمى أيضاً «الحُقّة»). ولكن هناك نقطتان تسترعيان الانتباه:

(١) لقد استخدمت كلمة سمكة بمعنى الإبرة ولكنها لم ترد في النصوص إلا مرتين.

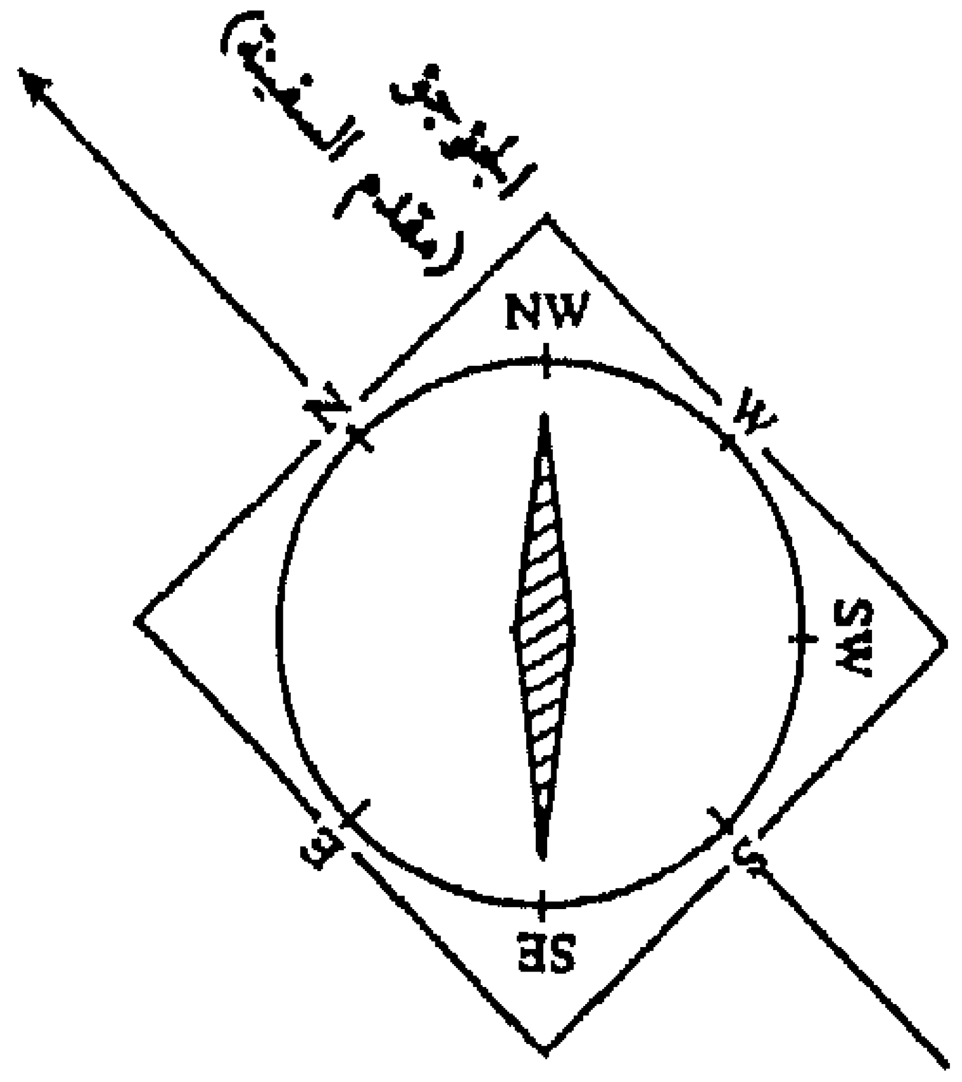
(٢) يمكننا أن نتكهن بوجود حاملة لهذا الجهاز مع ركيزة على محورٍ، مستندين بذلك على فقرة (ولكنها وحيدة) من شرحٍ لنواقص الحقة. هذه النواقص ناتجة، تبعاً لهذه الفقرة، عن ثقل دائرة الرياح وعن عدم جودة قبتها. ولكن كيف يمكن الإبرة أن تطفو بحريةٍ دون

أن تصطدم بجوانب الوعاء، إذا لم يكن لها ركيزة على محور؟ وكيف لا نجد إشارة إلى وجود وعاء عند الحديث عن نواقص البيكار؟ إن البحار يفهم دون تردد أن بطء الإبرة في تعديل اتجاهها ناتج عن ضعف القوة الموجهة للإبرة عندما تتمايل السفينة بسرعة أو عندما تنحرف وتغير اتجاهها.

ويساعد استعمال شعلة من قماشٍ، نهاراً، على تثبيت اتجاه السفينة. فالشعلة تدل على الاتجاه النسبي للريح، وهذا ما يسمح بتحديد اتجاه السفينة بالنسبة إليه.

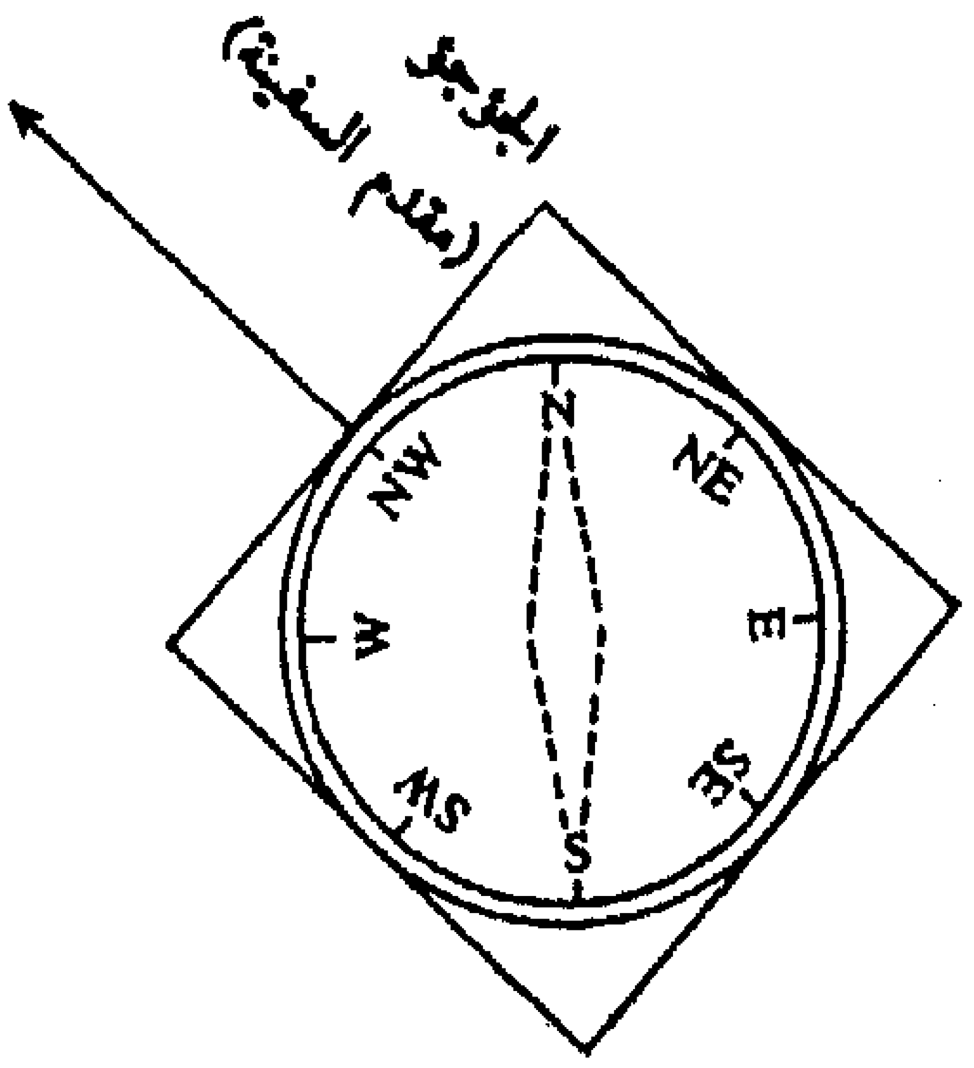
وإذا فرضنا وجود إبرة تستند، بواسطة حاملةٍ، على محورٍ داخل وعاء، كيف يتم الاستدلال على اتجاه السفينة؟ يمكننا تصور الجهاز في إحدى الحالتين البسيطتين التاليتين:

(أ) يكون الوعاء الحاوي للجهاز مثبتاً على السفينة ومدرجاً بالاتجاه المعاكس. فإذا كانت السفينة موجهة نحو الشمال الغربي (انظر الشكل رقم (٧ ـ ٤أ))، تكون تدريجة الشمال الغربي على يمين تدريجة الشمال، وتكون الإبرة موجهة نحوها.



الشكل (٧ ـ ٤أ)

(ب) تكون دائرة الرياح مدرجة بالأخنان، ومحمولةً من قبل الإبرة، أي أن الإبرة ودائرة الرياح ثابتتان الواحدة بالنسبة إلى الأخرى. وتوجد على الوعاء، الذي يمكن أن لا يكون مدوراً، علامة واحدة كافية للدلالة على مقدمة السفينة (أو على «خط الثقة»). وتوجد، مقابل هذه العلامة تقريباً، على دائرة الرياح، تدريجةٌ تدل على وجهة السفينة (انظر الشكل رقم (٧ ـ ٤ب)).



الشكل رقم (٧ ـ ٤ ب)

إن الحالة (ب) هي الأكثر ملاءمة من الناحية العملية، لأن مدير دفة السفينة يقرأ أمامه بشكل دائم وبطريقة شبه لا شعورية اتجاه السفينة، بينما يضطر في الحالة (أ) إلى

مراقبة وضع رأس الإبرة المتغير مع اتجاه السفينة، مما يقلل من سهولة المحافظة على هذا الأخير.

ولكن شكل جهاز دفة السفينة مشابه للحالة (أ). فهل وجدت الحالتان السابقتان في ذلك العصر؟ قد يفسر الجواب، إيجاباً عن هذا السؤال، استخدام النصوص دون تمييز للكلمات الثلاث: الحقة (أي الوعاء الحاوي للجهاز) وبيت الإبرة (أي موضع الإبرة) والدائرة (أي دائرة الرياح).

وأخيراً تبقى مسألة إضاءة البوصلة. لا شك أن إشعال النفط كان يتم في بعض الاحتفالات، عند الوصول إلى نيكوبار الكبرى مثلاً: «. . . أُضرب النفط وانشر العلم». ولكن هل كان هناك قنديل مجهز بنظام واقٍ مناسبٍ لإنارة الحقة؟

أما انحراف اتجاه الإبرة فيتأتى من تأثير الحديد والفولاذ على الحقة. يتغير هذا الانحراف مع تغير اتجاه السفينة. ويضاف «الحدور المغنطيسي» (الناتج عن الحقل المغنطيسي الأرضي غير المرتبط باتجاه السفينة) إلى هذا الانحراف للحصول على «التغير» الكامل لاتجاه الإبرة.

ولقد حذر ابن ماجد والمهري من الأخطاء التي قد ترتكب عند تقدير اتجاه السفينة بواسطة الإبرة (الانسياق مع التيار. . .، الخ) وشرحا هذه الأخطاء بكثرة. ولكننا بحثنا دون جدوى عن تعريف واضح لانحراف الإبرة في مؤلفاتهما. ونحن نتساءل، بعد قراءة مقطعين لابن ماجد: هل فطن ربابين السفن إلى وجود ظاهرة غير قابلة للتفسير تؤثر على اتجاه الإبرة؟ يتحدث ابن ماجد في المقطع الأول عن «السمكة» التي هي الإبرة قائلاً ما معناه: إن الطريق ليست مغلوطة إلا بـ. . . أو بسبب فساد الوعاء الحاوي للإبرة. أما في المقطع الثاني فيقول: «يحسب المعلم (الربان) أنه يجري في مجرى (معين) ولكنه يجري في غيره من قلة معرفته أو من فساد حقة أو سمكة مضروبة بحجر فرقدي. . .» (الفرقد هو اسم الدب الأصغر).

أما المهري فهو أقل غموضاً، إذ يقول ما معناه: قد تدل بعض دائرات الرياح على وجهة العش، أي على الشمال ـ الشمال الغربي.

إننا، في الواقع، نتحقق من وجود طرقات بحرية، نصح بها رجال ذوو ثقة، تقود إلى المرفأ المقصود (إلا إذا وقع خطأ في التنفيذ). فلماذا نقلق لأن الإبرة لا تدل على اتجاه الشمال الصحيح؟ وهل فطن إلى ذلك كثير من الاختصاصيين في ذلك العصر؟

ب ـ الخشبات

لقد ظهرت، خلال النصف الأول من القرن السادس عشر على وجه التقريب، تقنيتان لقياس ارتفاع نجمٍ ما:

ـ قياس الزاوية الفاصلة بين اتجاه النظر إلى الأفق واتجاه النظر إلى النجم.

ـ وضع علامة للنجم على خشبة عمودية (أو عدة خشبات) مدرجة بـ «الأصابع» بحيث يتطابق طرفها الأسفل مع خط الأفق.

لقد أعفينا القارىء غير المطلع على الشؤون البحرية من سرد مختلف الترتيبات التي يجب اتخاذها للتصويب الصحيح بعين واحدة على الأفق وعلى النجم، في آن واحد. سنكتفي بتذكيره بأهمية الصعوبات المتعلقة بعدم ثبات السفينة المتواصل، وبعدم الثبات النسبي ليد الذي يمسك بآلة القياس: يجب التصويب بسرعة على أهداف (نقط أو خطوط) غير واضحة أحياناً. نقول باختصار ان القياسات الإلكترونية فقط هي التي تؤمن القياسات الدقيقة. أما الخشبات، وحتى السدسية فهي لا تضمن الحصول على القيم الصحيحة للارتفاعات. إن مهارة مدير الآلة هي التي تخفف من عدم دقة القياسات.

هل نستطيع بعد هذا التذكير، استناداً على النصوص الموجودة لدينا، أن نبين الدرجة النسبية لانتشار استعمال الأجهزة المدرجة (كالربعية والأسطرلاب) في زمن ابن ماجد والمهري؟ (يقصد بكلمة الخشبات، أو الخُشُب أو الخُشَب، وهي جمع خشبة، جهاز قياس الارتفاع الفاصل بين نجم ما والأفق. والكلمة بالمفرد كانت تستخدم غالباً عندما تكون ارتفاعات عدة نجوم متساوية: «في خشبة واحدة»).

إن تضارب آراء الشراح المعاصرين يدفعنا إلى كثير من الحذر عند تحليل النصوص الخاصة باستعمال الخشبات.

تكلم بَرّوس (Barros) عن آلات عربية غير معروفة (من بينها ربعية) تستعمل لقياس ارتفاع الشمس. هل فعل ذلك حباً بنشر الأخبار المثيرة، أم أنه لفق هذا الخبر قبل أن يعترف بعد ذلك بقليل بأنه لم يستخدم بنفسه إلا الخشبات؟ لقد فعل ثِلِبي (Celebi) بشكل مماثل في كتاب **المحيط** (الذي هو ترجمة مع شرح لبعض مؤلفات ابن ماجد والمهري) المكتوب باللغة التركية سنة ١٥٥٣م. ترجم هذا الكتاب هامر بورغستال (Hammer-Purgstall) إلى الألمانية، ومنها ترجم إلى الإنكليزية من قبل برنسب (Princep). وأضاف هذا الأخير إلى ترجمته شرحاً لوصف آلات القياس. وعرض ثلبي بالتفصيل مميزات التدريجات الخاصة بجهاز من خشب له خيط مدرج رخو ـ تبعاً لما ذكره المهري.

ولقد تكلم المهري، هو الآخر، عن الاستخدام المتزامن للتقنيتين قائلاً: «... قياس الجزء (أي بواسطة جهاز ذي تقسيمات على قوس دائري) لا يختلف في كثرة ارتفاع الكواكب بخلاف قياس اليد (أي بواسطة الخشبات)...» (والمهري هو الوحيد الذي يستخدم كلمة «حطبات» بدلاً من «خشبات»). إنه يلمح في المقطع نفسه إلى وجود أجهزة شبيهة بالأسطرلاب تستخدم الخط العمودي الحقيقي للمكان كخط مرجعي. وما يقوله المهري، عن القياسات التي أنجزت كما نعلم على اليابسة، يتفق مع المنطق بشكل بديهي.

تكلم المهري بعد ذلك عن جهاز له خيط قائلاً: «كلما رفعت اليد إلى فوق ارتخى الخيط الذي في القياس بسبب قرب الخطبة من العين، فيضيق القياس».

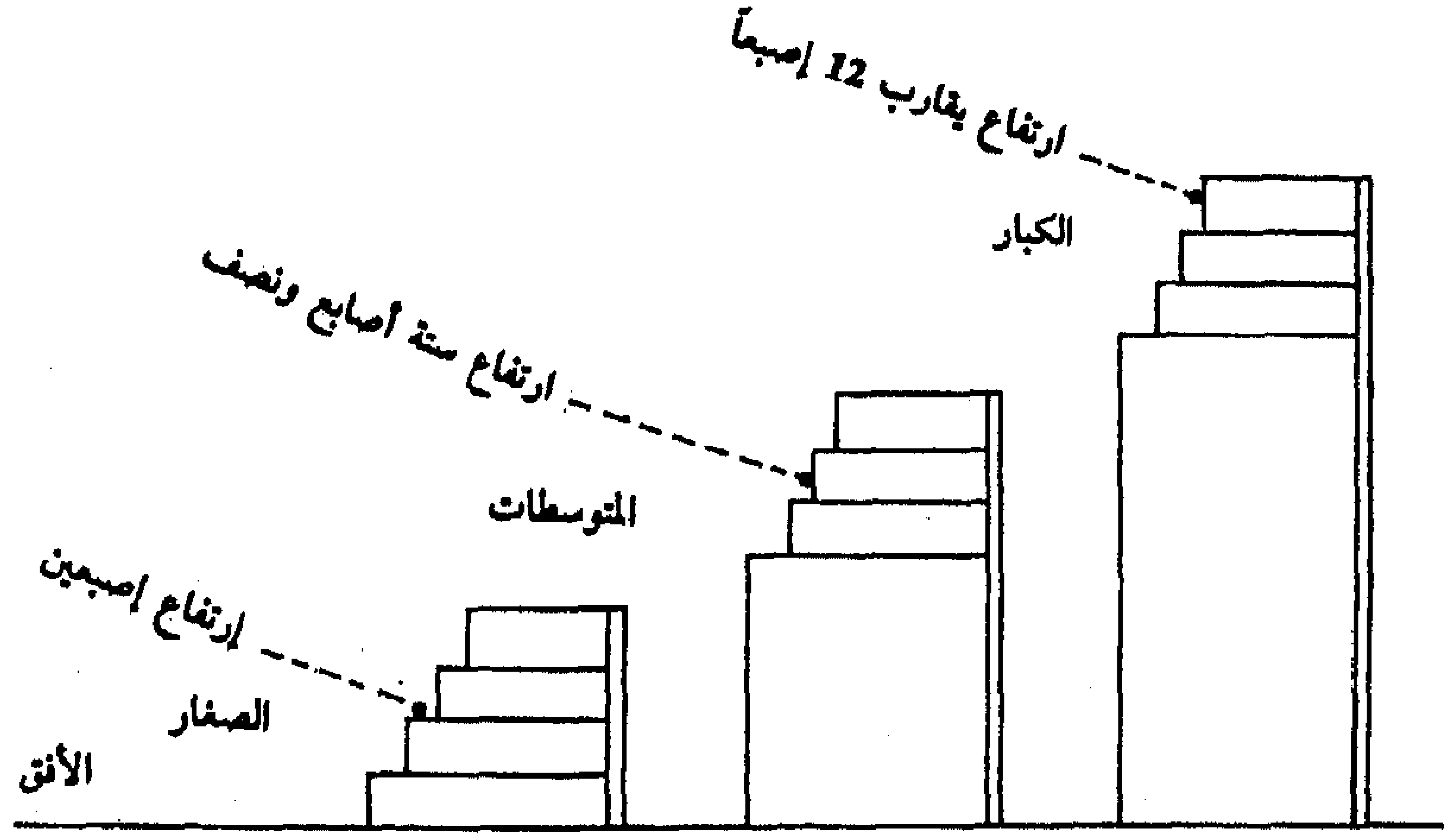
كيف يمكن للخيط أن يرتخي مع العلم أن وظيفته هي أن يكون مشدوداً؟ ولقد سألنا إبراهيم خوري حول هذا الموضوع فرأى ضرورة تصور الخيط كخيط خيالي أو كخط نظري.

لنستعرض الآن على كل حالٍ ما تعلمنا من ابن ماجد ومن المهري حول الخشبات، أي حول هذه التقنية التي كانت الأكثر استخداماً في عصرهما ـ إذ لم تكن الوحيدة ـ كما يبدو لنا. لقد تحدثنا قليلاً عن هذه التقنية، فماذا قالا على وجه التحديد؟:

(١) «. . . شرط قياسات الخشبات الأربع الكبار أن تكون ضيقة، والأربع المتوسطات (أن تكون) عادية، (وأن يكون) بين النجم والخشبة خيط، والماء كذلك خيط كحد السكين يراه الذي يقيس. وشرط الخشبات الصغار أن تكون نفاس (ضيقات). . . .».

(٢) «. . . تجعل النجم المقاس عن النجم الذي يلقى وجهك سبعة أخنان كالجاه (وجهة الشمال) والثريا، وتكون الخشبات الكبار ضيقات القياس ومد بها يدك ما استطعت، والأربع الصغار نفيسات قصر بها يدك ما استطعت، والأربع المتوسطات عادية القياس، وذلك لاتساع ذيل الأفق وانكفاف أعلى الأفق. . .».

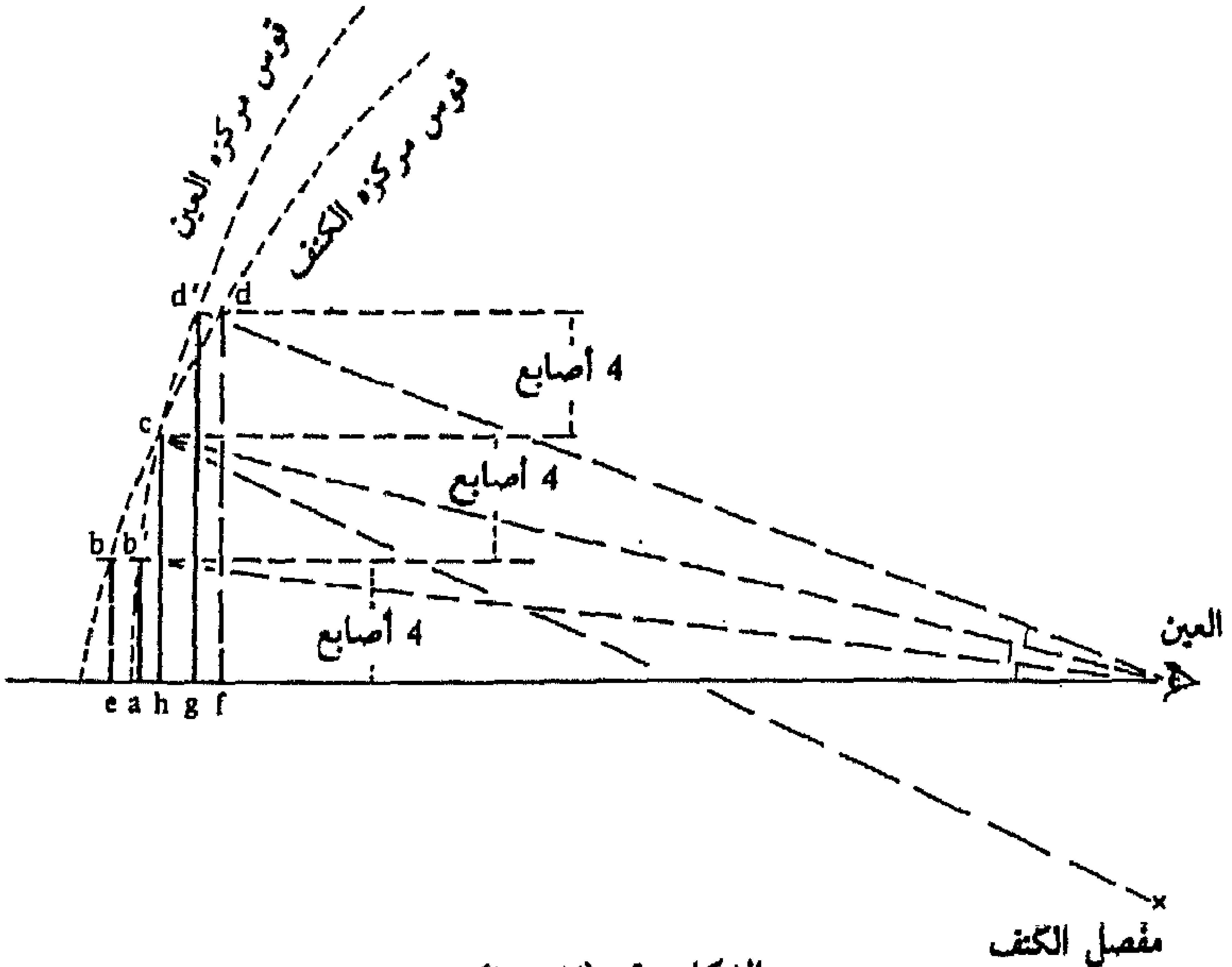
(٣) «. . . أحسن القياس ما كان معتدل الخشبات لا كبيرة ولا صغيرة».



الشكل رقم (٧ ـ ٥)

وهكذا يمكن أن نتأكد، حسب ما سبق، من وجود ثلاث مجموعات من الخشبات متزايدة في عرضها بمقدار أربعة أصابع، بحيث تكون كل مجموعة لوحةً متماسكةً ومرتبةً كما نرى في الشكل رقم (٧ ـ ٥) على سبيل المثال (مع أننا نجهل الترتيب الحقيقي لهذه

اللوحات). كان من الممكن أن نخطط الأصابع بألوان متناوبة غامقة وفاتحة، بدلاً من التدريجات السلمية. كما يمكن أن نتصور تقسيم اللوحات إلى أصابع وحتى إلى إجزاء الأصابع لتسهيل قراءة القياسات.



الشكل رقم (٧ ـ ٦)

نعرض في الشكل رقم (٧ ـ ٦) شرحاً لكيفية عمل الجهاز. كان من الأمثل أن تكون اللوحات الثلاث متلاصقة لكي تشكل لوحة كبيرة مقسومة إلى ثلاثة أقسام متلاصقة، كل قسم منها مساوٍ لأربعة أصابع وموجود على مقطع دائري مركزه في عين الراصد، وأن نجسد الأوتار ab′ (الخشبات الصغيرة) وhc (الخشبات المتوسطة) و gd′ (الخشبات الكبيرة). ولكن هذا الترتيب مستخدم في الربعية وفي الأسطرلاب، ولا يستخدم هنا. والسبب هو أن كل خشبة كانت تمسك من طرفها العلوي. وهكذا نستطيع تلخيص المسألة الواجب حلها كما يلي: قياس، بواسطة اللوحات ذات الأربعة والثمانية والاثني عشر إصبعاً، للزوايا aob′ وaoc و aod′ ذات الرؤوس المتطابقة مع العين والتي تفرق عن بعضها بمقدار أربعة أصابع، وإذا كان الذراع ممدوداً بشكل ثابت، ترسم اليدُ القوس bcd، وهو قوس دائري مركزه الكتف. لذلك فإن الأصابع الأربعة الموجودة على الشكل غير مناسبة. لنفرض إذاً أن المسألة محلولة إذا أخذنا c كنقطة انطلاق، وهي رابعة الخشبات المتوسطة (الموافقة لثمانية أصابع)، وذلك عندما يكون الذراع ممدوداً بشكل طبيعي. ولنرسم على مسافتين مساويتين لأربعة أصابع وثمانية أصابع خطين موازيين للأفق. أما رابعة الخشبات الصغيرة (أي ذات الأصابع الأربعة) فهي تقطع القوس الذي مركزه العين في النقطة b′، بينما تقطع رابعة الخشبات الكبيرة نفس القوس في النقطة d′. لذلك

ينبغي وضع الطرف العلوي للخشبة الأولى في النقطة ′b ووضع الخشبة الثانية في النقطة ′d. أما الذراع فقد تمدد من f إلى g وتقلص من e إلى a.

٤ ـ الآلات الأخرى

لقد رأينا أعلاه كيف أشار مؤلفانا إلى استعمال آلات أخرى غير الخشبات لقياس ارتفاعات النجوم.

إن افتراض وجود آلة ذات خيط لا يتعارض تماماً مع الحقيقة. فقد تأكد ظهور آلة من نوع «كمال» حوالى سنة ١٥٤٠م، فيها خيط يستعمل بالطبع لقياس ظل زاوية الارتفاع وبالتالي لقياس الارتفاع.

لقد لاحظ تيبتس (Tibbets) منذ سنة ١٩٧١ أن ابن ماجد والمهري لم يتحدثا أبداً عن الـ «كمل» أو عن الـ «كمال»، مع أن الكثير من الباحثين يعتقدون بأنه كان مستعملاً في عصرهما. ومما يزيد في هذا الاعتقاد ما نراه من ميل ابن ماجد إلى استخدام كلمات التفضيل مثل «الكملان»، وهذا ما يشكل مصدراً للأغلاط. يقول ابن ماجد مثلاً حول تجاوز جزر الفالات (جمع فال) (Les Laquedives)، إن هذا التجاوز يجب ألا يتم، في بعض أوقات السنة، بعيداً عنها. وذلك بسبب ضرورات تتعلق بالفصول. يقول ابن ماجد ما معناه: لا تدع النجم القطبي الشمالي يهبط بل اتجه شمالاً (عند الحاجة)، إذ يجب عدم الابتعاد (كثيراً نحو الجنوب) بمقدار ثلاثة كملانات.

إن كلمة كملان غامضة، ولقد استخدمها ابن ماجد آنفاً في مؤلفاته الشعرية. ولكن التعبير عن قيمة قوية أو ضعيفة، لا يتم عادة بهذه الطريقة.

أما «الأسطرلاب» بالمعنى الخاص للكلمة، فقد أكد البعض أن البحارة العرب قد استعملوه. وحجتهم في ذلك هي إشارة إلى ارتفاع وحيد «قيس بواسطة الأسطرلاب» وقيمته مساوية لعدد صحيح من الدرجات. لقد أشار ابن ماجد إلى إحداثيات بالدرجات، ولكنه أخذها من كتب جغرافية. أما المهري فقد أعطى بعض الارتفاعات المأخوذة بواسطة «آلة ذات تقسيمات». ولكن العدد الكبير، المقدر بالآلاف، للارتفاعات المقاسة بالأصابع بواسطة الخشبات، يظهر بوضوح أن الأسطرلاب لم يكن آلة القياس الشائعة في ذلك العصر.

أما «الربعية» (وهي عبارة عن دائرة أو قسم من دائرة مقسمة إلى أجزاء متساوية) فهي من بين الآلات التي أشارت إليها النصوص.

٥ ـ التقويم

تخضع النشاطات الملاحية لتبدل الفصول، وذلك في البحار التي تتبع نظاماً فصلياً واضحاً، وهذا شيء بديهي. ولكن كيف يمكن تحديد اليوم الأول من السنة الشمسية، إذا علمنا أن النجوم تغير مجراها بالنسبة إلى الشمس، بسبب حركة مبادرة الاعتدالين؟

لقد جابهت الإنسانية، في مسألة وضع التقويم، صعوبات مهمة، ولم تكتشف حلاً مقبولاً لها إلا في الإصلاح الغريغوري، الذي حصل في أواخر القرن السادس عشر. فكيف كان موقف البحارة في المحيط الهندي قبل قرنٍ من هذا التاريخ؟

يبدأ اليوم الأول من النَّيروز (أو النَّوْروز أو النِّيروز، وهو التقويم الذي كان متبعاً من قبل البحارة في المحيط الهندي)، تبعاً للحسابات الواردة في المخطوطات البحرية، عند ظهور منزل الإكليل (في برج الميزان) مع طلوع الفجر، بميل زاوي مساوٍ لـ 15 درجة. وكان هذا اليوم، الأول من النيروز، يقع في العشرين من تشرين الثاني/ نوفمبر الحالي.

تبدأ هنا الصعوبات الخاصة بتعريف تقويم لا يتغير. وذلك أن النيروز يتضمن 365 يوماً كاملاً. ويتقدم اليوم الأول من النيروز بمقدار ثلاثة أشهر تقريباً خلال أربعة قرون (وهذا ما كتبه الفلكيون العرب حوالى القرن العاشر). إن المدى الكبير لهذا التقدم يجعل التحرك الناتج عن حركة مبادرة الاعتدالين غير ذي أهمية. استخدم هذا النيروز المفرط في قصره في عصر ابن ماجد، وما زال مستخدماً حتى اليوم في المحيط الهندي (مع أنه يختلف من منطقة إلى أخرى ولم يعد يستند على منزل الإكليل).

والصعوبة التالية تكمن في تغير ظهور نجم ما تبعاً لارتفاعه ولميله الزاوي، وكان ابن ماجد واعياً لهذه الظاهرة. وهو يقول إن «أصحاب المؤلفات الكبرى» في علم الفلك حددوا بشكل رياضي منظم كل بزوغ شروقي وكل أفول غروبي، دون أخذ الميل الزاوي لكل نجم بعين الاعتبار، كما لو كانوا يرصدون على خط الاستواء مع أنهم كانوا فوق الدرجة 25 شمالاً. ولقد نقلت أقوالهم الخاصة بمنازل القمر اليومية بكاملها تقريباً إلى المخطوطات البحرية.

كانت النجمة (أ) التابعة لبرج الميزان تظهر فعلاً، في العشرين من تشرين الثاني/ نوفمبر تقريباً في أواخر القرن الخامس عشر، للراصد الموجود على خط العرض البالغ 15 درجة. وهناك احتمال كبير أن يكون ابن ماجد، وهو الملاح المتفحص باستمرار للقبة السماوية، قد لاحظ ذلك. إن تطابق ذلك، بخطأ يقل عن عشرة أيام، مع المسلمات الشائعة في القرن العاشر، جعل ابن ماجد يخفف من أهمية هذه الظاهرة، إذ قال ما معناه: هناك ما يحمل بعضهم على القول بأن أوقات الأسفار تتأخر درجة كل سنة. ولكن المهري يرى، بخلاف ابن ماجد أن أوقات الأسفار تتغير بمقدار ربع يوم في السنة، وهذا ما يعطي برهاناً جديداً على الاختلاف بين طباعهما.

كيف كان يتصرف البحارة في ذاك العصر في مواجهة الصعوبات الناجمة عن عدم انتظام هذا التقويم المرتكز على موقع نجمة؟ لنأخذ بعين الاعتبار الميراث التقني (الذي أهمل بسرعة من قبل البحارة المعاصرين)، من ناحية، والممارسة النشيطة للاجتماعات الدراسية بين قواد السفن، من ناحية أخرى. هذه الاجتماعات التي كانت تجري على السفن أو عند السماسرة كانت تسمح بتبادل المعلومات المختلفة. كل هذا يسمح بالتكهن بوجود إجماع، حوالى سنة ١٤٥٠م، للابحار من مناطق معينة نحو مناطق أخرى في أوقات معينة محسوبة، تبعاً للنيروز، باختلافات مساوية دائماً لعشرة أيام، ومساوية نادراً لخمسة أيام. ولقد أجريت شيئاً فشيئاً تصحيحات بمقادير تتراوح بين خمسة أو عشرة أيام على الأوقات السابقة، وذلك بعد سنين من التجارب التي تمت على خطوط بحرية محددة، وبعد مقارنة النتائج في تلك اللقاءات التي جرت تحت سلطة بعض الربابنة المشهورين. وقد تمت في النهاية مراجعات إجمالية، لتلك الأوقات، تواصلت إلى يومنا هذا.

وكانت أوقات الأسفار هذه تتبع أوقات الرياح الموسمية، حتى إن كلمة المواسم كانت تدل على أوقات الأسفار.

إن تقسيم السنة إلى فترات مختلفة تبعاً للرياح المميزة لها يحصل بالاستناد على النيروز. ولكن تعداد أوقات الأسفار الناتجة عن هذا التقسيم يبقى معقداً. يأخذ المخطط التالي بعين الاعتبار العديد من المناخات المحلية التي قد تسبب انعكاساً في هذا المخطط والتي قد تؤدي حتى إلى إلغاء «غلق البحر». بالإضافة إلى ذلك، قد يرد الكلام في بعض النصوص عن ريح غير متناسبة مع المكان والزمان، ولكن فهم مثل تلك المقاطع مرتبط بالمعنى المحلي للمصطلحات المستخدمة.

إن فترة «غلق البحر» هي فترة التوقف عن الملاحة، ولَمّ شَمْل العائلة إذا أمكن، في الميناء الذي تجهز فيه السفينة. تهب الريح الموسمية الجنوبية الغربية من بداية حزيران/ يونيو حتى منتصف آب/ أغسطس. ونحن نجد على الخرائط الفصلية الحالية أحد الخطوط المنحنية التي تبين اتجاهات الريح التي تهب في شهر تموز/ يوليو في شرق سقطرة. وهو خط ذو شكل متطاولٍ يحدد المنطقة (التي يسميها البحارة الفرنسيون «قرن اللوبياء») التي تشتد فيها الريح والتي يجب أن تتجنبها السفن الخفيفة القوة المتجهة نحو الغرب. تسمى فترة الريح الموسمية الجنوبية الغربية، وكذلك الريح نفسها، الكَوْس (وكلمة «دَبور»، أو «دبُّور»، تدل على المعنى نفسه، ولكنها تطلق في أكثر الأحيان على الريح نفسها).

ويبدأ الموسم الكبير، بعد نهاية فترة الغلق، في فترة آب/ أغسطس ـ أيلول/ سبتمبر التي تخلو من سوء الأحوال الجوية في كل المناطق. ويتضمن الموسم الكبير نهاية فترة الريح الجنوبية الغربية («الدماني» أو «الديماني») السهلة الاستخدام، وكل فترة الريح الشمالية الشرقية («أَزْيَب» أو «صبا») الممتدة من تشرين الأول/ أكتوبر إلى نيسان/ ابريل، وأخيراً فترة الريح الجنوبية الغربية المسماة «أول الكوس» أو «رأس الكوس» أو «آخر الموسم الكبير».

ويدل آخر الكوس على نهاية فترة الريح السهلة الاستخدام، أي على النهاية القصوى للموسم.

٦ ـ التعليمات البحرية

تدل عبارة التعليمات البحرية في العصر الحديث على الوثيقة الأساسية، في مكتبة البحار، الجامعة لكل المعلومات المفيدة في الملاحة وغير المرتبطة بالخرائط وبما هو قابل للقياس. أما كتابات ابن ماجد والمهري فهي مصنفات جامعة للتعليمات والنصائح الموجهة إلى البحارة. وهي تشكل، مع الأدوات الموصوفة أعلاه ومع التجارب الخاصة للبحارة، الوسائل الوحيدة المستخدمة في الملاحة.

وهكذا سيشكل القسم التالي عرضاً مركزاً على أهم المسائل الملاحية وعلى خلاصة التعليمات الملاحية التي كانت تحت تصرف الملاحين العرب في المحيط الهندي خلال القرن السادس عشر.

سابعاً: تقنيات تحديد الموقع في البحر تبعاً للتقدير وللرصد الفلكي

إن تحديد موقع السفينة، أو تقدير هذا الموقع في البحر إذا أردنا الكلام بمزيد من الدقة (أو «القطع» حسب تعبير ابن ماجد)، مرتبط بالمسار المقدر أولاً والمصحح ثانياً عند أول مناسبة ممكنة، بواسطة قياس ارتفاعات نجوم معروفةٍ وقابلةٍ للرصد. يتم ذلك استناداً إلى التعليمات الملاحية وإلى تجربة ضابط الملاحة.

إن ما يهم ضابط الملاحة هو تقدير اتجاه السفينة وسرعتها الحقيقية وارتفاعات النجوم. وكما رأينا سابقاً، كانت المسافات تحسب بالزامات. لذلك، فإن أهم المقاطع في مخطوطات ابن ماجد والمهري، بالنسبة الى البحار، تخص دقة الاتجاه وارتفاعات النجوم.

لنذكر أيضاً بأن الميقت (الكرونومتر)، وهو آلة قياس الوقت التي تعمل مهما كان المناخ ولمدة طويلة، لم يصبح سلعة تجارية إلا منذ مئة وخمسين سنة. لذلك لم يكن باستطاعة البحار قبل ذلك الزمن إلا قياس العرض فقط. لقد كانت هناك بالتأكيد طرائق تستخدم التثليث وتمكّن دون استعمال الميقت بالحصول على قيمة تقريبية لطول موقع مرفأ مهم. ولكن هذه الطرق لم تكن تسمح أبداً بتحديد طول موضع السفينة.

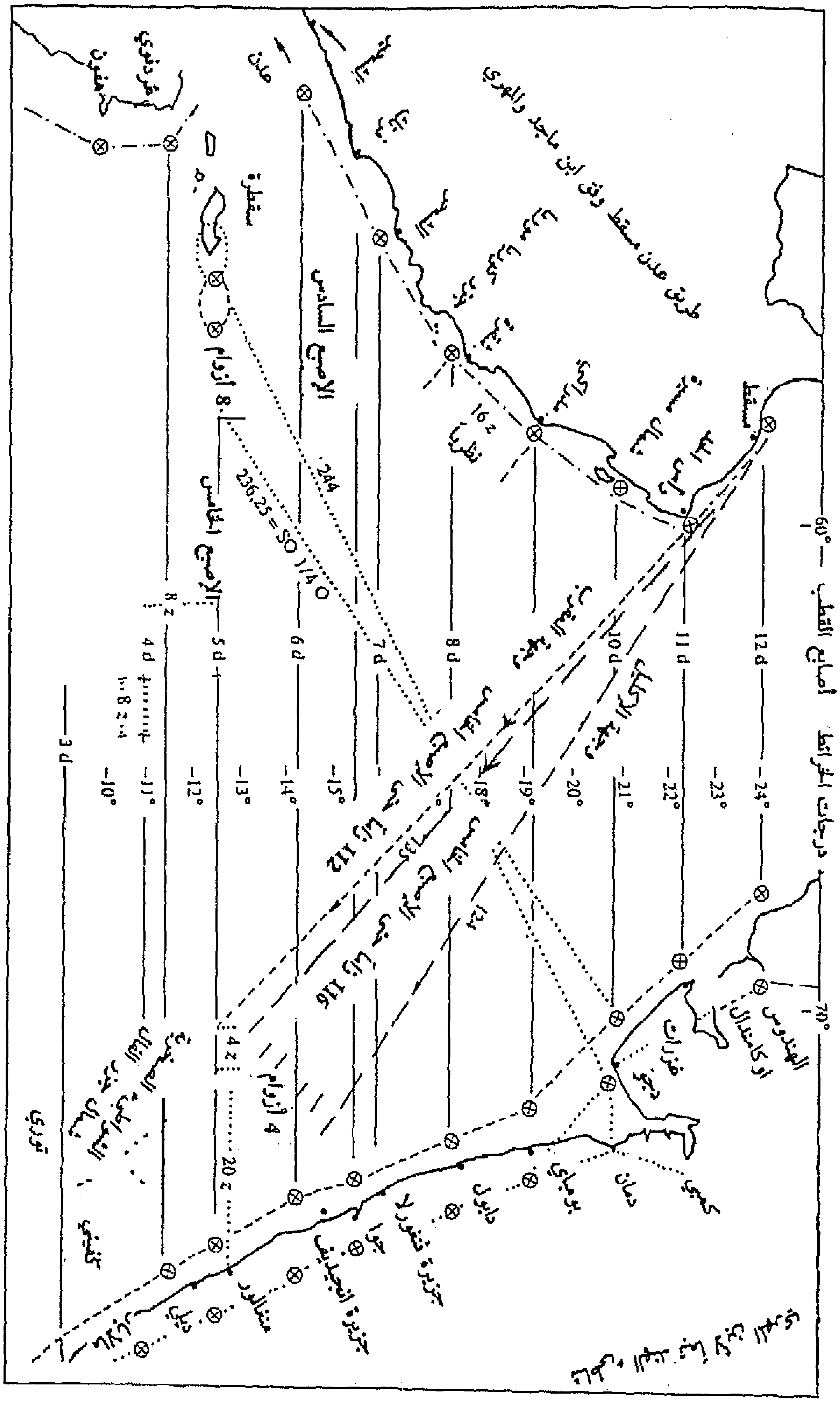
إننا نخص بكلامنا الملاحة العربية التي كانت تحصل بشكل رئيس بين شواطىء وجهتها إجمالاً نحو الشمال. لذلك فإن معرفة قيمة تقريبية للطول، في هذه الحالة، كافية ودون ضرر يذكر. ولكن تحقيق التنسيق بين العرض المرصود وبين الطول المقدر يتطلب كثيراً من المهارة التقنية.

١ ـ دقة اتجاه السفينة

إلى أي درجة من الدقة كان يتم التحكم في اتجاهات السفن على المسارات الطويلة؟ إن الجواب عن هذا السؤال مرتبط بالمسائل العملية.

كان أصغر جزء على دائرة رياح، من بين دوائر الرياح الباقية في المحيط الهندي، يزيد على درجتين، بينما لا تستطيع السفن العصرية المجهزة حسب التقنيات الحديثة حفظ الاتجاه بخطأ يقل عن نصف درجة. أما ابن ماجد فقد تكلم عن ملاحة على مسارٍ بحري طويل حفظ فيها الاتجاه بخطأ لا يزيد عن ربع الخن، أي ما ينقص قليلاً عن ثلاث درجات. ولقد عدد أنواع الطرقات البحرية، فهي ساحلية، ومباشرة في عرض البحر، و«استنتاجية» (بالمقارنة مع طريق آخر صحته مفروضة). شك ابن ماجد في قيم المسافات المقدرة التي قبلها «القدماء»؛ إذ قال ما معناه: تبحر سفينة باتجاه العقرب (الجنوب الشرقي) من مسقط ورأس الحد إلى أن تصل إلى مسافة أربعة أزوام شمال شواطىء جزر الفالات (انظر الشكل رقم (٧ ـ ٧)). . . وتبحر سفينة ثانية باتجاه يوجد بين العقرب (الجنوب الشرقي) والإكليل على بعد أربعة أسباع الخن من الإكليل (كثيراً ما يلجأ ابن ماجد إلى هذه التقريبات)، فتصل إلى شواطىء الفالات بعد مسار طوله سبع ترفات. وبذلك تكون السفينة الثانية قد قطعت 28/7 زاماً أكثر مما قطعته السفينة الأولى. . . وهكذا يظهر أن عدد التّرفات مغلوط. . . لأن المسافتين متساويتان وقيمتهما المشتركة هي 117 زاماً. . .

إن هذا المقطع غامض ولكننا سنورد فيما يلي شرحنا له نظراً لأهميته. إن اتجاه العقرب (الجنوب الشرقي) يوصل السفينة فعلاً إلى مسافة أربعة أزوام من شاطىء جزر الفالات (التي نعرف عرضها المساوي لخمسة أصابع كما نعرف أن عرض مسقط يساوي 12 إصبعاً). أما اتجاه السفينة الثانية فهو على بعد 6/8 (وليس كما قرر ابن ماجد بشكل تقريبي) الخن من الإكليل. ولكننا سنحتفظ بالرقم 5/7. تساوي المسافة التي قطعتها السفينة الأولى ستة عشر زاماً وتساوي المسافة التي قطعتها السفينة الثانية ثمانية عشر زاماً، أي بفارق قدره زامان، مع العلم أن السفينتين قد اجتازتا سبع ترفات. ولكي يحصل ابن ماجد على قيمة المسافة الإضافية التي قطعتها السفينة الثانية نراه يحسب نسبة 2 إلى 7 فيكون معه $28/ = 2/7 \times 7 \times 2$ 7 أي 4 أزوام.



الشكل رقم (٧ ـ ٧)

ويمكن التحقق من ذلك بسهولة إذا فرضنا أن المسافة الإضافية التي قطعتها السفينة الثانية تعادل خِنَّين، ثم طرحنا خمسة أسباعها من قيمة مسار السفينة الثانية 2 = 16 – 18 و 10 = 5/7 × 7 × 2 و116 = 10 – 126)؛ أو أضفنا إلى قيمة مسار السفينة الأولى (أي 112) سبعي 14 (أي 4) فنحصل على 116.

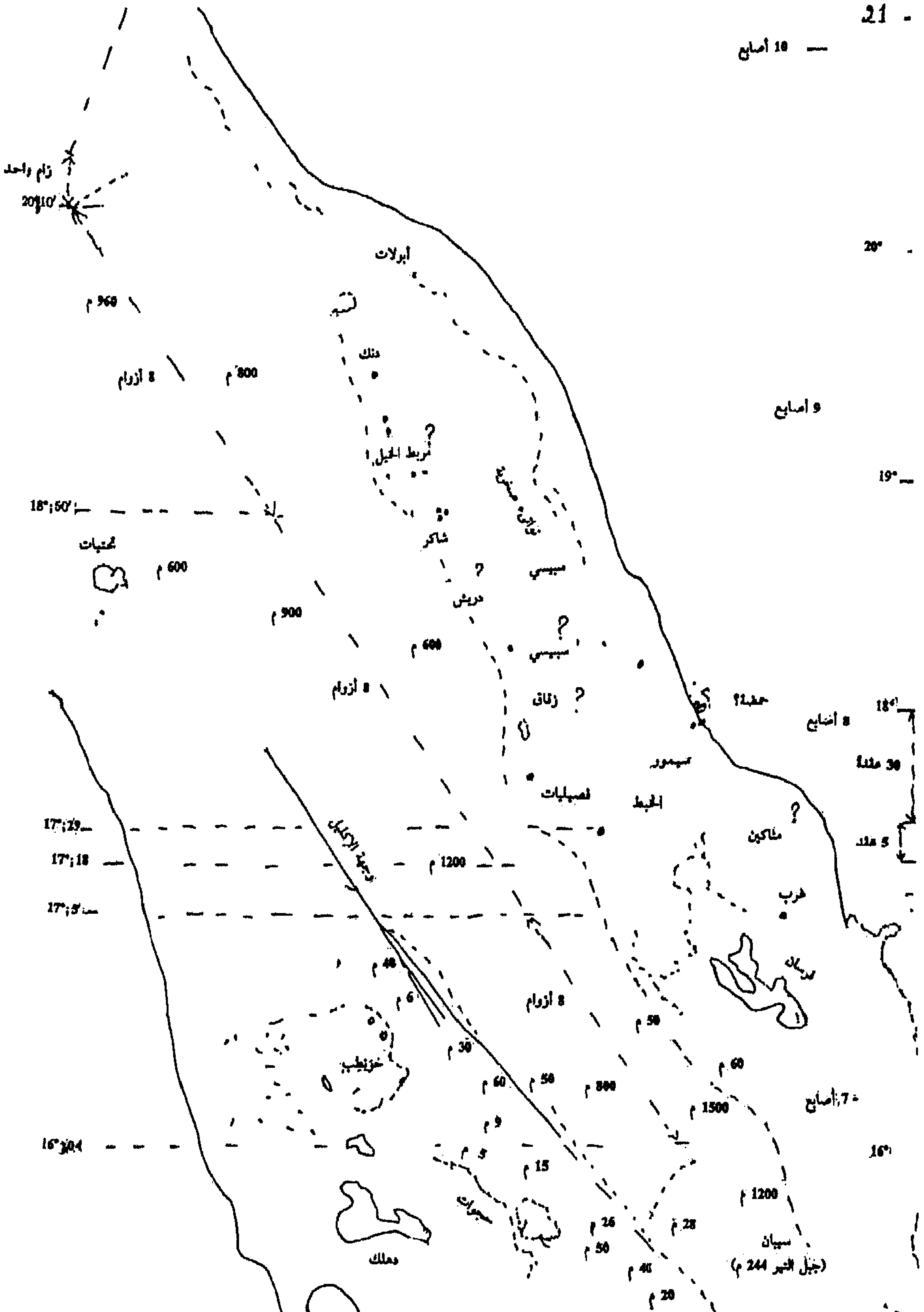
يبقى علينا الآن أن نفسر كيفية الحصول على الرقم 117 وهو القيمة المشتركة للمسارين تبعاً للنص. ولكن قيمة المسافة الأولى تساوي بلا ريب 116 = 4 + 112 كما أظهر ذلك الحساب السابق. هل هذا ناتج عن خطأ من قبل الناسخ الذي قد كتب 7 بدلاً من 6؟ على كل حال إن برهان ابن ماجد صحيح بخطأ يساوي زاماً واحداً.

لنلاحظ أخيراً ما يلي: لم يكن أحد من الربابنة يجرؤ على توجيه سفينته نحو شاطىء الفالات، هذا الشاطىء الهائل القليل العمق والمحجوب وراء أعماق بحرية صعبة الاجتياز. لقد غرق هناك ربان برتغالي بسفينته وبمن فيها خلال سفرته الثانية. ولكن ابن ماجد لم يحذّر أبداً من هذه الأخطار.

لقد تحدث المهري أيضاً عن أخماس الأخنان في ظروف مشابهة لما رأينا أعلاه، ولكن هذين الربانين لم يشيرا إلى أكثر من أربعة أمثلة من هذا النوع. لذلك يصعب التأكد، استناداً إلى هذه الحجج، من استخدام أقسام الأخنان في الملاحة على الطرق البحرية في المحيطات.

يمكننا، مقابل ذلك، أن نذكر مثلاً عن الملاحة في بحر مغلق، مأخوذاً عن ابن ماجد، يؤكد فيه هذا الأخير أن الملاحة كانت تتم فيه حسب أرباع الأخنان، أي أن اتجاه السفينة كان يحفظ بخطأ لا يزيد على ربع الخن. كان يحدث ذلك، تبعاً لابن ماجد، في البحر الأحمر على الطرق البحرية المختلفة التي تقطع البحر الأحمر من جدة باتجاه الجنوب وتنتهي في سيبان (أو جبل تير). يبلغ علو هذا الجبل ٢٤٥ متراً، وهو يشرف على كل المنطقة المحيطة به، والبحر من حوله ذو قاع جداري (انظر الشكل رقم (٧ ـ ٨)).

إن أرصفة الشواطىء الصخرية في البحر الأحمر تدخل بعيداً في البحر، بحيث يكون قاعه كثير العمق من جهة الساحل العربي، وقليل العمق من جهة الساحل المقابل.



الشكل رقم (٧ ــ ٨)

مأخوذ من «التائية».

ولكن البحارة مع ذلك يفضلون، عند اجتيازهم للبحر الأحمر باتجاه الشمال، الرسو على الشواطىء العربية. وذلك لأن المناطق الصخرية تظهر فيها مساءً بشكل أوضح بفضل شمس الأصيل حتى لو كانت أشعتها أفقية. وبالإضافة إلى ذلك، إن الرياح التي تدفع السفن شمالاً تخضع غالباً لانعكاسات في اتجاهاتها، بينما تكون الرياح الدافعة جنوباً أقل تقلباً في اتجاهاتها (هل هذا هو السبب الذي جعل ابن ماجد يعطي الكثير من ارتفاعات النجوم على الطرق البحرية التي تجتاز البحر الأحمر باتجاه الشمال، بينما لا يعطي إلا نادراً ارتفاعات النجوم على الطرق البحرية التي تجتاز هذا البحر باتجاه الجنوب؟).

تصل بعض هذه الطرق البحرية إلى غرب سيبان. ولكن السير عليها يتطلب حذراً شديداً بعد مسافة ٣٠٠ عقدة من جدة، أي بعد اجتياز خط العرض المساوي لـ 17 درجة تقريباً (أي ما يعادل سبعة أصابع ونصف الإصبع من النجم القطبي). ولكن كيف يتغير الطول على هذه الطرق؟ (الخريطة على الشكل رقم (٧ ـ ٨) تظهر الأعماق القابلة للبلد (أي للسبر) حول دهلك حيث لا يمكن تمييز إلا بعض الصخور المتناثرة المنخفضة والمغطاة غالباً بالرمل ونادراً بالعليق). فإذا أظهر البلد أن السفينة قد انحرفت غرباً، علماً بأن السفينة تسير باتجاه الحمارين، ينصح ابن ماجد أن يبقى العمق متراوحاً بين ٢٤ و٣٥ متراً... وذلك بالليل نحو وجهة العقرب بمقدار ربع أو ثلث أو نصف الخن حسب الحاجة. وتؤمن هذه العملية السير بعيداً عن المناطق القليلة العمق.

وهكذا كانت السفن تسير نحو الجنوب متجنبة أخطار الساحل العربي، ومستدلة بالأعماق القابلة للبلد دون رؤية أية إشارة في حويطب أو في حجوات. وكان الربابنة، بعد ذلك، يستخدمون كل براعتهم للاستدلال على إشارة سيبان المتميزة، قبل مجابهة أخطار الجنوب الأخرى.

والخلاصة هي أننا رأينا مثلاً لطريق بحرية نظرية توصل إلى شواطىء جزر الفال الصخرية التي تخيف البحارة، ومثلاً آخر للترتيبات الدقيقة التي يجب اتخاذها للملاحة في البحر الأحمر. كل هذا يعزز فكرة وجود ترتيب لجهاز الإبرة في عصر ابن ماجد، يسمح بالملاحة حسب أرباع الأخنان.

٢ ـ ارتفاعات النجوم

اعتمد نظام الملاحة العربي على التقدير، وكان التحقق من موضع السفينة يتم، بشكل عام، بالاستناد إلى ارتفاعات النجوم الواردة في كتب «التعليمات البحرية». لذلك احتل

حساب ارتفاعات النجوم مكاناً مهماً في المخطوطات البحرية العربية التي أظهرت براعة العرب فيه.

أ ـ ملاحظات أولية

يبدو مناسباً أن نشدد على النقاط الأربع التالية:

(١) كانت إحداثيات النجوم على فلك البروج معروفة بثباتها، وهي كذلك على وجه التقريب. أما الإحداثيات الاستوائية للنجوم، وهي الإحداثيات الوحيدة الصالحة لرصد العرض، فهي غير ثابتة، ولكنها تتغير ببطء (بمقدار ١٥ دقيقة تقريباً في أربعين سنة). وهذا ما يفسر عدم ملاحظة هذا التغير من قبل البحارة في ذلك العصر.

(٢) لم يستخدم البحارة العرب إلا النجوم نظراً لثباتها. وكانت خبرة هؤلاء البحارة الموثوقين المتمرسين كافية (وكانت الذاكرة الخارقة التي يتمتع بها كل الناس البسطاء الدائمي الاحتكاك بالطبيعة، تسعفهم عند فقدان كراس) للملاحة على الخطوط البحرية البعيدة المدى، بمجرد تعيين مواقع بعض النجوم.

(٣) إن الأزياج الحالية التي يستخدمها البحارة ما زالت تحسب حتى اليوم، على الرغم من المتطلبات العلمية، في نظام مرجعي مركزي أرضي (إذ إن الحسابات فيه مختزلة كثيراً). وهكذا يمكننا بسهولة إعادة تشكيل الطرائق التي كان يستخدمها البحارة الأقدمون.

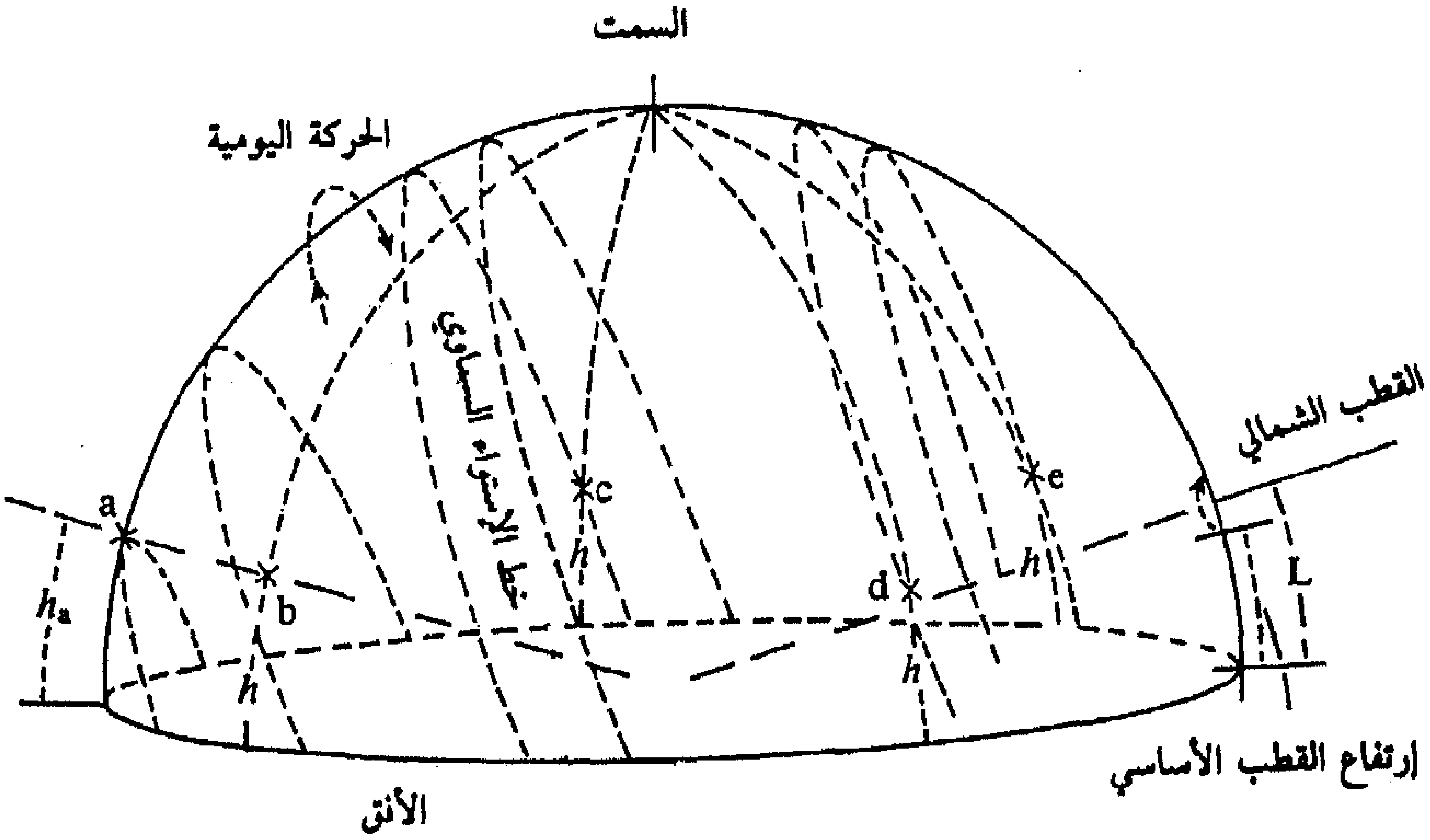
(٤) يجب أن نأخذ بعين الاعتبار، عند تفحص قياسات ارتفاعات النجوم التي أنجزت في أواسط القرن السادس عشر، عدم الدقة النسبية لآلات القياس وعدم ثبات الأرضيات التي توضع عليها هذه الآلات وفقدان التصحيحات الضرورية التي يجب إدخالها على هذه القياسات (انكسار الضوء، ... الخ).

يجب علينا، لكي نفهم عقلية هؤلاء البحارة في ممارستهم للملاحة في أعالي البحار، أن نتصور التجريبية الكبيرة التي كانت تلازم الوسائل البسيطة التي كانت تحت تصرفهم (ما زال الإسبانيون حتى اليوم يطلقون كلمة (el pratico) أي المجرب على الربان المسؤول عن قيادة السفينة في الأماكن الحساسة).

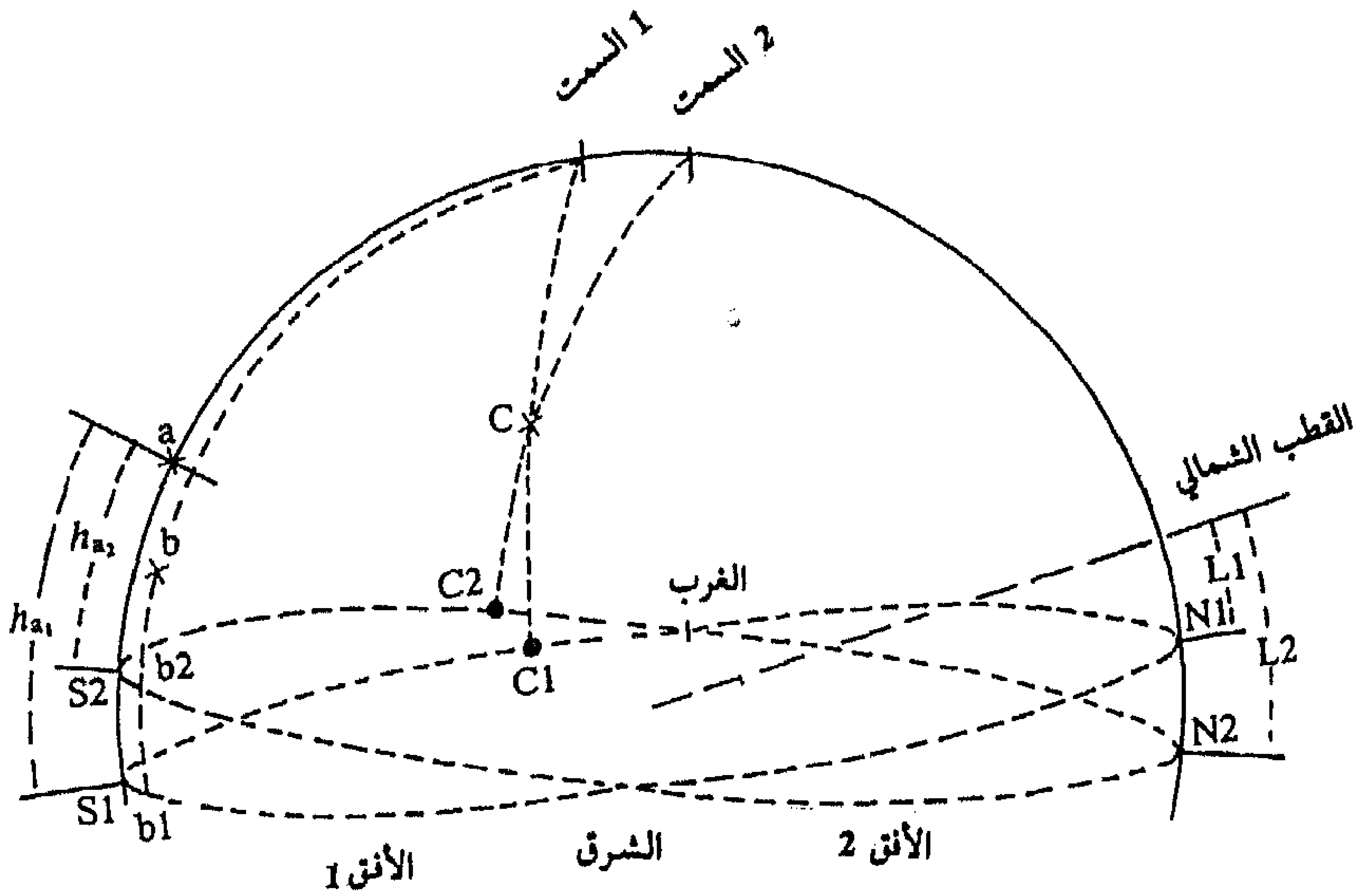
ب ـ الارتفاعات المزوجة

كانت «الخشبات»، في عصر ابن ماجد، الآلة الوحيدة الشائعة الاستعمال. وكانت تسمح بقياسات لا تتعدى ١٢ إصبعاً ولا تقل عن ثلاثة أصابع (لقد كشف البحارة عن وجود تأثيرات غير عادية ناتجة عن انكسار الضوء عند قياس الارتفاعات الصغيرة). يقول ابن ماجد: «لا خير في نجم إلى الماء دانٍ». وهكذا كانت مجموعة الزوايا الزوالية محصورة في نطاق ضيق جداً. وقد لاحظ البحارة، وهم بصدد حل هذه المسألة، أنه قد يحدث

لنجمتين b وc (انظر الشكل رقم (٧ ـ ٩)) أن تكونا في لحظة ما على نفس الارتفاع h، إذا كانت الارتفاعات، المقاسة في مكان عرضه L، تتعدى قيمة مرجعية معينة مساوية للزاوية الزوالية لنجمة أخرى هي النجمة a. نرى على الشكل رقم (٧ ـ ١٠) الحالة الأكثر وقوعاً، حيث تكون النجمة c على وشك الأفول وتكون النجمة b بعد البزوغ. ويمكن أن تكون هاتان النجمتان بعد البزوغ في الوضعين b وd، أو على وشك الأفول في الوضعين c وe. ويمكن أن يتغير الميل الزاوي لكل من النجمتين. وكان يعبر عن حالة هاتين النجمتين بعبارة: «إنهما على خشبة واحدة» أو بعبارة: «إنهما في تعادل». وهناك عبارات أخرى لها معانٍ مطابقة تماماً أو مشابهة مع بعض الفوارق لمعنى كل من العبارتين السابقتين، تبعاً للحالات المتعددة التي يمكن الوقوع فيها.



الشكل رقم (٧ ـ ٩)



الشكل رقم (٧ ـ ١٠)

إن استخدام قيمة الزاوية الزوالية لنجم ما في حساب عرض موقع السفينة يعطي مردوداً نظرياً مساوياً لمئة بالمئة. أما استخدام الارتفاعين المزوجين فإنه يعطي مردوداً يتراوح بين صفر ومئة بالمئة. وذلك لأن هذا المردود الأخير مرتبط بالميل الزاوي وبالسمت لكل من النجمتين المزوجتين. يبدو أن نهج ابن ماجد التجريبي المطبوع بالبساطة قد قاده إلى بعدٍ حقيقي في النظر. وذاك أنه كان واعياً لضرورة تصحيح الارتفاع المشترك للنجمتين بنسبة معينة؛ وهذا ما قرب نتائجه فعلاً من الحقيقة. أما المهري فلم يفطن إلى هذه المسألة، بل اكتفى بالقول: «أصح القياس إذا كان النجم المقاس تحت القطب أو فوقه وقت القياس. وسبب صحته أنه في ذلك الوقت نَوْه لا زيادة فيه ولا نقصان... بخلاف قياس الشقاقات فإنها غير صحيحة لسرعة جريها...».

إن الثبات النسبي لنجمة ما عند بلوغها الأوج (وحتى في المناطق الاستوائية) يسمح، في الواقع، برصد موثوق. بينما تؤثر سرعة طلوع النجم الكثير البعد عن مستوي الزوال، بشكل سلبي على الرصد. لقد أعطى المهري قائمة بتسعة نجوم أوصى برصدها. فهو يوصي مثلاً برصد أ ـ السهم (α Paon) خلال فترة الرياح الموسمية الغربية التي تتضمن ثلاثة أشهر يغلق فيها البحر. أما الأزواج فهي: زوج الفرقدين (ب و ج في مجموعة الدب الأصغر)، هـ وَ و في مجموعة النعش (الدب الأكبر)، وأ و ب في مجموعة العيوق

(Centaure)، والسهيل ـ آخر النهر. ولكن قيم الارتفاعات التي أعطاها المهري تتعارض مع بعضها إذا انتقلنا من مؤلف إلى آخر.

أما ابن ماجد فهو، كالعادة لا يعطي قائمة متماسكة بأزواج النجوم. ولكن مراجعةً دقيقة لمخطوطاته تسمح بإحصاء ما يقرب من ستين زوجاً من النجوم، غير أن بعضها نافل. ويجب الحصول بعد ذلك، على قيم الارتفاعات لكل زوج من هذه الأزواج والتحقق منها رياضياً. سنبين فيما يلي الخطوط الكبرى لهذه المزاوجات، ثم نعرض نتائج التحقق الذي قمنا به. وهذا ما سيؤدي بنا إلى تقييم نتائج أعمال هذين البحارين، بعد أن نعرض التقنيات التي استخدماها.

يوجد في **الحاوية** (الكتاب الذي حرره ابن ماجد في أيام شبابه، إذا صح أن ابن ماجد كتبه كله) عدة أزواج من النجوم (بالإضافة إلى زوج الفرقدين في مجموعة الدب الأصغر وزوج الدب الأكبر هناك زوج الحمارين وزوج الواقع ـ التير وزوج آخر النهر ـ سهم القوس وزوج آخر النهر ـ الواقع). وهذا ما يدفعنا إلى التكهن بأن ابن ماجد هو أول من استخدم هذه الطريقة. ثم حرص على بسطها بعناد، بشكل متقطع وغامض أحياناً. ولكن هناك القليل فقط من أزواج النجوم التي تغطي مجموعة واسعة من الارتفاعات والتي أرفقت بالملاحظات الخاصة بالأوقات المناسبة للأسفار والأرصاد.

يمكن أن نميز، بشكل مبسط، ثلاث حالات من المزاوجة بين النجوم:

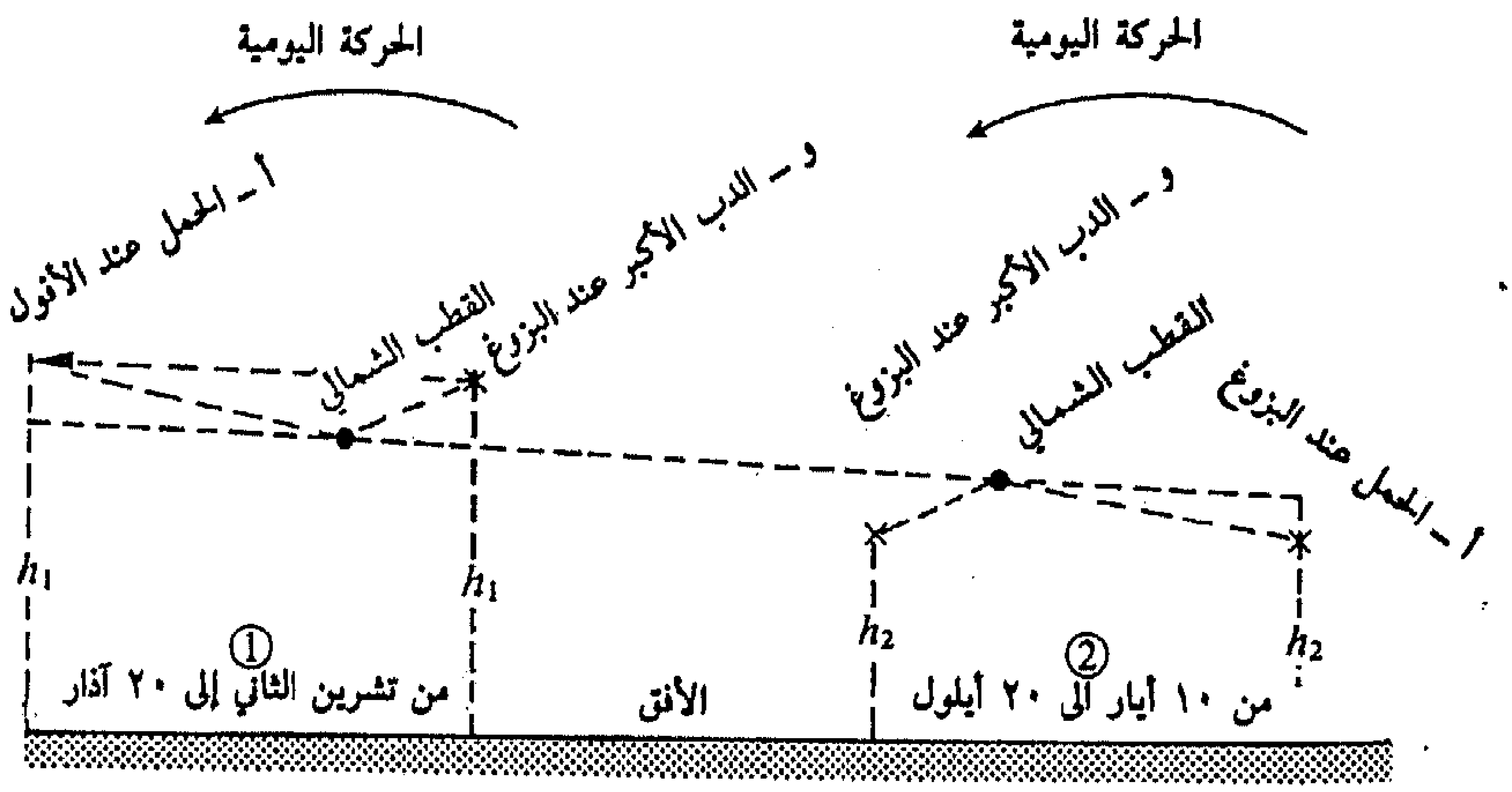
(١) تكون النجمة الأولى قريبة من مستوي الزوال، وتكون النجمة الثانية بعيدة عنه وسريعة في طلوعها، بينما تكون شريكتها بطيئة. وهذا ما يساعد على ترقب اللحظة المنتظرة التي تكون فيها النجمتان على الارتفاع نفسه. تسمى هذه الحالة من المزاوجة «عصا الربابين» أو «عكاز الربابين». يقول ابن ماجد ما معناه: تكون النجمة «آخر النهر» غير بعيدة عن زاويتها الزوالية، أما التير فتكون في بعدها السمتي. يتغير العرض من 25° ; 36′ إلى 19° شمالاً، ثم يثبت بالنسبة الى إحدى النجمتين (سنشرح هذه الطريقة فيما بعد). ليس هناك صعوبات كبرى في تتبع مسار كل من النجمتين، إذا كان الربان على علم بأسماء النجوم وبالأوضاع الجغرافية، وإذا كان أليفاً لأساليب ابن ماجد.

(٢) لا يفرض أي شرط على الميل الزاوي لكل من النجمتين. ولكن الحالة التي يكون فيها أحد هذين الميلين أصغر من 45° وتكون فيها قيمة الميل الآخر اختيارية، نادرة جداً. إن «الفرد الكبير» هو المثل الذي نقدمه لهذه الحالة: و ـ الدب الأكبر وأ ـ الحمل. يتضمن استخدام هذا الزوج صعوبات كبرى. فهو يعطي نتائج ممتازة في فترة الريح الموسمية الشرقية بين درجتي العرض 19°و 14°; 30′ شمالاً، وكذلك في فترة الريح الموسمية الغربية بين درجتي العرض 18° و24° شمالاً. ولكن الخطأ في القياس، خارج هاتين الفترتين، يمكن أن يتجاوز 20′ حتى يصل إلى 1°; 30′، وهذا ما يجعل القياس مغلوطاً. لقد عظم ابن ماجد قيمة «الفرد الكبير» كثيراً في جميع بحار العالم وحتى في بحر الروم. وهو يكتفي

بوصفه «ضيقاً» في بلاد الزنج و«نفيساً» في المناطق العالية العرض. ولكن لماذا لا يقول شيئاً عن هذا الزوج في الأسفار إلى ملقة (التي يتم خلالها تجاوز سيلان بعيداً جداً عن شواطئها) وعند الاقتراب من الصومال، كما رأيناه يقوم بذلك عند كلامه عن «باشي»؟

(٣) هذه الحالة هي مزيج من الحالتين (١) و(٢)، ولكنها لطرافتها تستحق الدراسة بشكل منفصل: إنها حالة «القيد». قد يحدث أن يكون الرصد مستحيلاً في لحظة المزاوجة بين النجمتين: قد يكون ذلك خلال النهار مثلاً. يحل ابن ماجد هذه المسألة بوضع ترتيبة تجعل إحدى النجمتين تحتفظ بارتفاع معين لا يتغير داخل شريط محدد بعرضين معينين، وبحيث يتحرك النجم الثاني داخل هذا الشريط وفق مسارٍ معروف.

لنفرض أن الفارق بين الطالعين المستقيمين لنجمتي زوج ما يقرب من ١٢ ساعة، كما هي حال «الفرد الكبير». هذا يعني أن هاتين النجمتين موجودتان على خطي زوال متقابلين تقريباً. نتيجة لذلك تصبحان من جديد على الارتفاع نفسه بعد اثنتي عشرة ساعة تقريباً. وهكذا يحصل «الإبدال» تبعاً لمفهوم ابن ماجد في دراسته لهذا النوع من أزواج النجوم. من الواضح أن الارتفاع المشترك الثاني يختلف عن الارتفاع المشترك الأول، وأن هذه الظاهرة لا تحدث في الليلة نفسها إلا في المناطق ذات العروض المرتفعة خلال فصل الشتاء. ولكن البحارة العرب لم يرصدوا النجوم أبداً في المناطق التي يزيد عرضها على 25° شمالاً أو جنوباً (انظر الشكل رقم (٧ ـ ١١)). إن هذا المفهوم الخاص للإبدال مناسب لتحقيق حالة «القيد» التي عرضناها أعلاه.



الشكل رقم (٧ ـ ١١)
الارتفاعان المشتركان في كل من حالتي الإبدال، h_1 و h_2 هما غير متساويين.

لنتساءل أخيراً عن مدى فهم ابن ماجد للعلاقة بين الأخطاء في تقدير موضع السفينة وبين مردود المزاوجة. ليس لدينا جواب أكيد على ذلك، ولكن ابن ماجد اقترب غالباً من الحقيقة في كتاب الدرائب، عند توضيحه للترتيبات الخاصة بكل زوج من النجوم. وذلك أنه يقول ما معناه: عندما يتغير العرض يتغير الارتفاع المشترك لزوج ما من النجوم أو ارتفاع شريك النجم «المقيد»، ويكون هذا التغير الأخير مساوياً لعدد من أجزاء الإصبع كلما تغيرت الزاوية الزوالية بمقدار إصبع كامل. ولكن، ألم يكن نطاق تغير العرض ضيقاً إلى درجة تخفي على ابن ماجد بعض التقلبات لدى بعض أزواج النجوم؟

ج ـ التنسيق بين قياس الارتفاعات وقراءة الخريطة

لم يكن هذا التنسيق سهلاً بشكل دائم؛ سنعطي فيما يلي مثلين أخيرين للتوضيح:

(١) إن التلاؤم كامل بين القياسات الخاصة بالنجم القطبي وتلك الخاصة بزوج الفرقدين (ب وج في مجموعة الدب الأصغر)، وذلك عند السير باتجاه الجنوب (كان الجنوب قبل ذلك العصر موجوداً في أسفل الخريطة، إذ كان اسمه السافل). أما التلاؤم بين زوج الفرقدين وبين الزوج هـ وَ و في مجموعة النعش (الدب الأكبر)، فقد أثار جدلاً له ما يبرره. كان التنافر بين الأرصاد الفلكية والرسم على الخريطة، يمتد بعيداً، وخاصة فيما يخص جنوب مدغشقر وجزر المسكراني (باستثناء جزر القمر ذات الوضع المضبوط تماماً على الخريطة). هل يشهد هذا على انقطاع الملاحة العربية في هذه المنطقة، كما كان كذلك شرق ملقّة وشمال جدة باتجاه الشمال؟ غير أن الملاحين العرب كانوا يصلون إلى سُفالة على طرق بحرية مختلفة. ولقد شعرنا مع ابن ماجد، على إحدى الطرق البحرية الساحلية، بالعذاب الذي كان يقاسيه البحار، الخاضع للتيارات البحرية العنيفة، كما كان يحدث في كمبي (Cambay)، في المياه العكرة الخطرة لقلة عمقها، قريباً من الدلتا الكبير لنهر زمبيز. يجب أن تأخذ السفينة وجهة السهيل في أول الطريق المؤدية إلى أعالي المحيط الهندي، وهذا ما يوصلها إلى مستوى ممبون شيلوان (Mambone-Chiluan) بخطأ لا يتعدى ′20.

(٢) نحن على علم بدقة قياسات الارتفاعات التي قام بها ابن ماجد، استناداً إلى نجمة القطب الجنوبي في البحر الأحمر، وهذا ما يتعارض مع وجود الأخطاء المتناثرة التي رأيناها أعلاه أحياناً. إن أحد هذه الارتفاعات مثير للاهتمام بشكل خاص: إنه يساوي لارتفاع القطب البالغ سبعة أصابع وربع الإصبع. وهذا ما يوافق زاويتين زواليتين متساويتين ومتقابلتين تعطيان القيمتين ′33°16 و ′36°16 شمالاً، المدهشتين في تقاربهما. وهاتان القيمتان تحددان مكاني صخرتين غادرتين ضمن سلسلة مرجانية مكانها قريب من جزر «الفرسان» (هذا المكان غير واضح على الخرائط الحالية، وقد يكون مثيراً للاهتمام أن يتم تحديده بفضل وثيقة من القرن الخامس عشر، إذ يعطي المثل على التضامن بين البحارة عبر العصور!).

خاتمة

إن هذه الدراسات والتأملات المتناثرة، لوثائق ينقصها التماسك بشكل خاص، لا يمكنها أن تعطي صورة إجمالية نهائية عن المعارف الملاحية العربية في المحيط الهندي حوالى سنة ١٥٠٠م.

يبقى على الباحثين، كما أشرنا أعلاه باقتضاب، أن يقوموا بإحصاء وتحليل واستثمار العديد من المخطوطات المبعثرة في مكتبات عديدة في البلاد التي لها علاقة بالتاريخ المعقد للملاحة في المحيط الهندي.

لا تشكل الصفحات السابقة إلا مساهمة متواضعة لمجهود جماعي واسع. ليس الهدف من هذا المجهود إغناء علم الملاحة الحديث، وذلك لأننا دخلنا دون رجعة ميدان الملاحة المستندة إلى الإلكترونيات.

أليست مساهمتنا سوى وقفة وداع ممزوجة بالحنين إلى هؤلاء البحارة الذين اعتمدوا على السدسية والبوصلة القديمة والخشبات؟ أم هي بادرة أخيرة موجهة نحو البحارة البسطاء الذين تنازلوا عن وظائفهم للعاملين المغمورين في «مركز العمليات»؟

لا، إن عرض الأمور بهذه الطريقة يشكل إهانة خطيرة لهذين البحارَين ابن ماجد والمهري (ولو كان أحدهما أكثر تجربة من الآخر) اللذين تعلمنا على تقديرهما على الرغم من عيوبهما التي تجعلهما أقرب إلينا. يجب ألا ننسى أنهما وريثان، على الرغم من نواقصهما «العلمية»، لتقليد رائع عريق في التفكير الدقيق تشهد له هذه الدراسة.

— ٨ —

إرث العلم العربي في العبرية

برنار ر. غولدشتاين(*)

ابتدأ التقليد العلمي العبري، الذي هو انعكاس للتراث اليوناني المنقول بواسطة مصادر عربية، بمرحلة من الترجمات في القرن الثاني عشر للميلاد؛ ثم تتابع بدراسات واجتهادات إضافية مبنية على هذه الترجمات. ومع أن مراكز النشاط الرئيسة كانت إسبانيا وجنوب فرنسا، فقد أبدى جميع التجمعات اليهودية اهتماماً بالمواد العلمية. وفي الحقيقة، اهتم الشعراء والمتصوفون وعلماء القانون والفلاسفة اهتماماً كبيراً بالمواضيع العلمية[1].

إن أغلبية النصوص العبرية هي مخطوطات مبعثرة في المكتبات العالمية في مختلف الأصقاع، لكننا نملك منها عدداً كافياً لتحديد سمات هذا التقليد. وتجدر الإشارة إلى أن الكثير من النصوص العربية قد أعيد نسخه بأحرف عبرية. فقد كان هذا التقليد شائعاً لدى اليهود الناطقين بالعربية، وفي بعض الحالات، لم تسلم النصوص الأصلية إلا بهذا الشكل فقط. وخلافاً للنصوص الأدبية، فإن عدداً كبيراً من المستندات قد حفظ في جنيزة القاهرة (Géniza du Caire). وهذه المستندات هي في أغلبيتها نصوص كتبت لمناسبات خاصة، ثم أهملت بعد ذلك بفترة قصيرة من الزمن. والجنيزة في الأصل كانت موجودة في غرفة من كنيس القاهرة؛ وكانت توضع فيها المستندات المعدة للطمر الشعائري لاحقاً. لكن هذا

(*) أستاذ في جامعة بيتسبورغ.

قام بترجمة هذا الفصل شكر الله الشالوحي ونزيه عبد القادر المرعبي.

(١) Bernard Raphael Goldstein: «The Survival of Arabic Astronomy in Hebrew,» *Journal for the History of Arabic Science,* vol. 3, no. 1 (Spring 1979), pp. 31 - 39, and «Scientific Traditions in Late Medieval Jewish Communities,» in: Gilbert Dahan, ed., *Les Juifs au regard de l'histoire: Mélanges en l'honneur de Bernhard Blumenkranz* (Paris: Picard, 1985).

الطمر لم يحدث أبداً، ولقد وجد حوالى مئتي ألف مستند عائد إلى الفترة الممتدة ما بين القرنين العاشر والتاسع عشر، وذلك عندما تم نقل هذه المجموعة الثمينة إلى المكتبات الأوروبية والأمريكية في أوائل القرن العشرين. وبين هذه المستندات نجد نصوصاً علمية، تمثل جميع العلوم التي كانت تدرس في العصر الوسيط؛ وأغلبها نصوص بالعربية كتبت بالحرف العبري، إضافة إلى بعض النصوص المدونة بالعربية وأخرى بالعبرية(٢).

تظهر دراسة هذه النصوص أن التجمعات اليهودية أولت علوم الفلك والرياضيات والطب اهتماماً أساسياً، لكننا نجد نصوصاً أخرى تمثل فروعاً متنوعة في الفيزياء والبيولوجيا. وهذا ما تبينه الدراسات الفهرسية الموجزة التي قام بها م. شتينشنيدر (M. Steinschneider) وأ. رينان (E. Renan)، في القرن التاسع عشر(٣). إضافة إلى ذلك، فإن أغلبية المجموعات الأوروبية الكبرى من المخطوطات المذكورة هي مصنفة، مما يسهل إلى حد بعيد مسألة تفحصها المفصل. ومن بين الدراسات الحديثة حول هذا الموضوع تجدر الإشارة إلى مقالة تحصي أكثر من مئة نسخة من الترجمات العبرية المتنوعة لكتاب ابن سينا **القانون في الطب** الذي كان النص الأساس في الدراسات الطبية في العصر الوسيط الأول(٤). كما نجد نسخات عديدة لكتابي **الأصول** لإقليدس **والمجسطي** لبطلميوس، مترجمة عن العربية إلى العبرية. فقد كان هذان الكتابان يشكلان أساساً للدراسات في مجالي الرياضيات وعلم الفلك في العصر الوسيط(٥). إلا أننا، فيما سيلي من هذه الدراسة، سنقتصر على علم الفلك.

يعود البدء بمساهمة اليهود في علم الفلك باللغة العربية إلى أوائل العصر الإسلامي؛ كما هو الحال مثلاً مع ما شاء الله (المتوفى سنة ٨١٥م)(٦). وفي القرن الثاني عشر للميلاد بدأ الاهتمام بالعلم ينتشر لدى يهود البلدان المسيحية، الذين كانت لغتهم الأدبية هي العبرية. وكان هؤلاء اليهود بحاجة إلى ترجمات للنصوص العربية. وأول باحث قدم لهم معلومات في علم الفلك والرياضيات كان أبراهام بارحيّا البرشلوني (القرن الثاني عشر

---

(٢) حول الجنيزة، انظر: Solomon Dob Fritz Goitein, *A Mediterranean Society; the Jewish Communities of the Arab World as Portrayed in the Documents of the Cairo Geniza* (Berkeley, Calif.: University of California Press, 1967-), vol. 1, pp. 1 - 28.

(٣) Moritz Steinschneider, *Die Hebräischen Übersetzungen* (Berlin: [n. pb.], 1983), and E. Renan, «Les Ecrivains juifs français du XIVe siècle,» dans: *Histoire littéraire de la France*, 38 vols. (Paris: Imprimerie nationale, 1733 - 1944), vol. 31.

(٤) B. Richler, «Manuscripts of Avicenna's Kanon in Hebrew Translation,» *Koroth*, vol. 8 (1982), pp. 145 - 168.

(٥) Steinschneider, Ibid., pp. 506 and 523.

نجد لائحة بالمخطوطات أكثر كمالاً في: Institute for Microfilmed Hebrew MSS, the National Library, Jerusalem.

(٦) انظر: Fuat Sezgin, *Geschichte des Arabischen Schrifttums*, 8 vols. (Leiden: E. J. Brill, 1967 - 1982), vol 6: *Astronomie*, pp. 127 - 129

للميلاد)[٧]. وما قام به أبراهام يعتبر بشكل عام شرحاً أكثر مما هو ترجمة فعلية. وهكذا، فإن جداوله الفلكية مثلاً قد ارتكزت على جداول البتاني (المتوفى سنة ٩٢٩م)؛ كما أنه اتبع في مقدمته طريقة هذا المؤلف نفسه[٨]. وأحد هذه الجداول هو عبارة عن قائمة بالنجوم الثابتة مع إحداثياتها. ولكي نفهم معنى هذه القائمة، لا بد من الرجوع إلى النص اليوناني لكتاب **المجسطي** لبطلميوس (حوالى سنة ١٤٠م)، الذي يحتوي على ١٠٢٨ نجماً، وقد ترجم إلى العربية إبان القرن التاسع الميلادي[٩]. وقد أعاد البتاني وضع نصف هذه القائمة تقريباً، حيث صحح مواقع النجوم، وفق خط الطول، آخذاً بعين الاعتبار المبادرة منذ زمن بطلميوس وحتى عصره (والمبادرة هي معدل زيادة خط طول النجوم الثابتة مع الوقت؛ وكان بطلميوس على علم بهذه الزيادة. أما الإحداثية الثانية أي خط العرض، فهي لا تتغير). واختصر بارحيّا أيضاً هذه القائمة ولم يضمنها سوى النجوم من الدرجة الأولى والثانية في العظم (عظمة النجم هي قياس لتألقه).

اندست، في لائحة النجوم لبطلميوس، أخطاء كثيرة من جراء الترجمات، والنسخ، والنسخ عن النسخات، وقد بدت هذه الأخطاء شديدة الغرابة. لكن مقارنة المخطوطات اليونانية والعربية والعبرية التي حفظت، تسمح بتتبع المراحل المختلفة التي قطعها هذا الانتقال، ويحل أغلب الإشكالات. وعلى سبيل المثال، فإن نجماً وارداً في جدول بطلميوس بتألق من الدرجة الرابعة، يظهر في لائحة بارحيّا بتألق أول (أي من الدرجة الأولى (المترجم)). إن هذا الخطأ ناتج عن الخلط بين الحرفين اليونانيين ألفا (alpha) (الذي يمثل القيمة العددية ١) ودلتا (delta) (الذي يمثل القيمة العددية ٤)، إذ إن بعض النساخ كانوا يكتبون هذين الحرفين بشكل واحد. وقد أعطى بارحيّا لكل نجم اسمه العربي مدوناً بأحرف عبرية، كما أعطى في الوقت نفسه ترجمة عبرية للأسماء، وقد اتبع هذه الطريقة الكثير من خلفائه. إن تحليل المعطيات العربية والعبرية معاً، يظهر بوضوح أن هذا التقليد فيما يخص أسماء ومواقع النجوم الثابتة في القرون الوسطى يقتصر على العمل الأدبي كالترجمة، ولا يستند إلى أرصاد جديدة مستقلة[١٠].

---

(٧) Abraham bar Ḥiyya ha-Nasi, *La Obra enciclopédica; yĕsodé ha-tĕbuná u-migdal haĕmuná*, de Abraham bar Hiyya ha-Bargeloní, Ed. crítica con traducción, prólogo y notas, por José Mª. Millás Vallicrosa (Madrid: [n. pb.], 1952).

(٨) Abraham bar Ḥiiyya ha-Nasi, *La Obra Séfer Ḥešbón mahlekot ha-kokabim (Libro del cálculo de los movimientos de los astros)*, Ed. crítica, con traducción, introd. y notas por José Mª. Millás Vallicrosa ([Barcelona]: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto Arias Montano, 1959).

(٩) Paul Kunitzsch, *Der Almagest: Die Syntaxis Mathematica des Claudius Ptolemäus in Arabisch - lateinischer Überlieferung* (Wiesbaden: Otto Harrassowitz, 1974).

(١٠) Bernard Raphael Goldstein, «Star Lists in Hebrew,» *Centaurus*, vol. 28 (1985), pp.185-208.

وهناك نص عربي آخر كان له تأثير كبير هو نص الخوارزمي حول الجداول الفلكية، الذي درس في إسبانيا درساً مستفيضاً. إن النص الأصلي العائد إلى القرن التاسع مفقود؛ لذلك ينبغي الرجوع إلى ترجمة لاتينية من القرن الثاني عشر للميلاد، موضوعة عن ترجمة إسبانية ـ عربية منقحة وعائدة إلى العام ۱۰۰۰ تقريباً[11]. إضافة إلى ذلك هناك شرح بالعربية للنسخة الأصلية، كان قد كتبه ابن المثنى في إسبانيا في القرن العاشر للميلاد، وقد وصل هذا الشرح إلينا بالعبرية واللاتينية فقط. وتعود إحدى الترجمات العبرية لنص الخوارزمي إلى أبراهام بن عزرا (الذي أقام في إسبانيا وتوفي في العام ١١٦٧م). وتشكل هذه الترجمة مصدراً مهماً للمعلومات حول التطورات الأولى لعلم الفلك الإسلامي في أواخر القرن الثامن وأوائل القرن التاسع الميلاديين[12]. ويبدو أن المدرسة الفلكية الأولى التي تعرّف عليها العرب في القرن الثامن الميلادي، قد وصلت إليهم من مصادر هندية، في حين أنهم لم يتعرفوا على علم الفلك اليوناني إلا لاحقاً. إن شرح ابن المثنى هو محاولة، لم تتكلل دائماً بالنجاح، لتفسير نص يشكل انعكاساً للمصادر الهندية، وذلك بواسطة أساليب وطرق المدرسة اليونانية. وقد كتب بن عزرا في مقدمة ترجمته ما معناه[13]: «هناك عالم أكثر نبوغاً من أقرانه في علمي الهندسة والفلك، اسمه محمد بن المثنى، كتب مؤلفاً مميزاً لصالح أحد أنسبائه، بخصوص قواعد حركة الكواكب. وينطبق هذا المؤلف على جداول الخوارزمي، وفيه أدرج العالم براهين مقتضبة ورسوماً بيانية صغيرة أخذ مبادئها من المجسطي. . . لا يوجد اختلاف بين قواعد بطلميوس لحركة الكواكب وبين قواعد العالم الهندي باستثناء بعض النواحي البسيطة. وعندما نتطرق إلى هذا الأمر، سأفسر سبب الاختلاف».

فمن الواضح أن بن عزرا كان يدرك هذا التداخل بين المدرستين، لكنه وضع كل اهتمامه في إيضاح الاختلافات بسبب عجزه عن الوصول المستقل إلى المصادر الضرورية المناسبة.

---

(١١) Heinrich Suter, *Die Astronomischen Tafeln des Muḥammed Ibn Mūsā al-Khwārizmī in der Bearbeitung des Maslama Ibn Ahmed al-Madjrīṭī und der latein,* Übersetzung des Athelhard von Bath auf grun der vorarbeiten von A. Björnbo und R. Besthorn in Kopenhagen... hrsg und Kommentiert von H. Suter (Kobenhavn: A. F. Host and Son, 1914), and Otto Neugebauer, *The Astronomical Tables of al-Khwārizmī,* translated with commentary of the latin version (Copenhagen: [n. pb.], 1962).

(١٢) Aḥmad Ibn al-Muthannā, *Ibn al-Muthannā's Commentary on the Astronomical Tables of al-Khwarīzmī,* two hebrew versions edited and translated with an astronomical commentary by Bernard R. Goldstein, Yale Studies in the History of Science and Medicine; 2 (New Haven, Conn.: Yale University Press, 1967).

(١٣) المصدر نفسه، ص ١٤٩.

أما الفيلسوف اليهودي الأكثر أهمية في القرن الثاني عشر الميلادي، فهو ابن ميمون أبو عمران موسى الذي كتب مؤلفاً بالعبرية حول التقويم اليهودي، مستنداً جزئياً إلى أعمال أسلافه المسلمين، ولا سيما البتاني[١٤]. كما قدم إشارات عديدة فلكية ورياضية في مؤلفه الفلسفي الرئيس **دلالة الحائرين**، الذي ترجم من العربية إلى العبرية خلال حياة الفيلسوف. وقد نقل ابن ميمون انتقادات كل من ابن باجة وجابر بن أفلح بصدد علم الفلك البطلمي[١٥]، وقد عاش هذان الأخيران في القرن الثاني عشر الميلادي في إسبانيا. كما أضاف انتقاداته الخاصة مستنداً جزئياً إلى مناقشة القبيسي (القرن العاشر الميلادي) حول المسافات بين الكواكب، ثم استنتج قائلاً[١٦]: «والاستدلال العام منه أنه دلنا على محركه لأمر لا تصل عقول الإنسان إلى معرفته، وإتعاب الخواطر في ما لا تصل إلى إدراكه ولا لها آلة تصل بها، إنما هو نقص فطره أو ضرب من الوسواس».

ولقد نقل العديد من النصوص، خلال القرن الثالث عشر الميلادي، من العربية إلى العبرية، وبشكل أساسي في جنوب فرنسا، بغرض استعمالها من قبل العلماء اليهود في تلك المنطقة، الذين كانوا يجهلون العربية. وقد كان موشيه بن تبون (Moshe ben Tibbon) المترجم الأكبر إنتاجاً، وهو ينتمي إلى أسرة اشتهرت بالمترجمين، كانت قد نزحت من إسبانيا إلى فرنسا في القرن الثاني عشر الميلادي[١٧]. وتشكل ترجمة بن تبون إلى العبرية، في العام ١٢٥٩[١٨]، لمؤلف كتاب **في الهيئة** الذي وضعه البطروجي في العام ١٢٠٠، مثالاً

(١٤) Moses ben Maimon, *Sanctification of the New Moon*, translated from the hebrew by S. Gandz, with supplementation and an introduction by J. Obermann, and an astronomical commentary by O. Neugebauer, His the Code of Maimonides, Book 3, Treatise 8 (New Haven, Conn.: Yale University Press, 1956).

(١٥) Moses ben Maimon, *Le Guide des égarés*, traité de théologie et de philosophie par Moïse ben Maimoun, dit Maïmonide, publié pour la première fois dans l'original arabe et accompagné d'une traduction française et de notes critiques, littéraires et explicatives par S. Munk, 3 vols. (Paris: A. Franck, 1856 - 1866), vol. 2, pp. 185 - 186 et 193 - 194, réimprimé (Paris: G. - P. Maisonneuve, 1960).

(١٦) المصدر نفسه، مج ٢، ص ١٩٤ ـ ١٩٥. حول القبيسي وابن مأمون، انظر: Bernard Raphael Goldstein, «The Status of Models in Ancient and Medieval Astronomy,» *Centaurus*, vol. 24 (1980), p. 138.

(١٧) انظر: D. Romano, «La Transmission des sciences arabes par les Juifs en Languedoc,» dans: M. - H. Vicaire et B. Blumenkranz, dirs., *Juifs et Judaïsme de Languedoc* (Toulouse: [s. n.], 1977), pp. 363 - 386.

(١٨) Nūr al-Dīn Abū Isḥāq al-Bitrūjī, *On the Principles of Astronomy*, an edition of the arabic and hebrew versions with translation, analysis, and an arabic - hebrew - english glossary by Bernard R. Goldstein, Yale Studies in the History of Science and Medicine; 7, 2 vols. (New Haven, Conn.: Yale University Press, 1971).

عن عمله. وقد أخذ البطروجي على عاتقه التوفيق بين نماذج مدارات الكواكب الموحدة المركز عند أرسطو والنماذج المختلفة المراكز والمتضمنة لأفلاك التدوير عند بطلميوس. وتمثلت فكرته في صيغة معدلة لنماذج بطلميوس على سطح كرة بدل أن تكون في مستوى فلك البروج، وذلك بهدف تجنب انتقادات بعض فلاسفة إسبانيا المسلمين.

والحل الذي اقترحه البطروجي كان موضع تعليقات وانتقادات أوردها يهودا بن سلومون كوهن الطليطلي (Yahuda ben Salomon Kohen de Tolède) في مؤلفه الموسوعي الذي كتبه في الأصل بالعربية ثم ترجمه بنفسه إلى العبرية سنة ١٢٤٧م. كما علق عليه ليفي بن جرسون (Levi ben Gerson) (المتوفى سنة ١٣٤٤م) في رسالته الفلكية المكتوبة بالعبرية، التي تؤلف الجزء الأول من مقالته الخامسة الواردة في مؤلفه الفلسفي الكبير **حروب الرب** *(Les Guerres du Seigneur)*. وانتقده كذلك اسحق إسرائيلي الطليطلي (حوالى سنة ١٣١٠م) في مقالته الفلكية بالعبرية **خلق العالم (ياسود عولام)**[١٩]. وفي الواقع، فقد تم رفض محاولة تغيير نماذج بطلميوس، لأن البطروجي لم يستطع تفسير جميع الظواهر الفلكية المعروفة، في حين أن نماذج بطلميوس نجحت تماماً بالتنبؤ بهذه الأحداث. إن ترجمة موشيه بن تبون الحرفية تماماً والخالية من أي شرح كانت أساساً في تكوين مصطلح تقني لم يكن موجوداً قبل القرن الثاني عشر الميلادي[٢٠].

وبفضل جهود موشيه بن تبون، بالدرجة الأولى، استطاع العلماء اليهود اللاحقون، الذين كانت العبرية لغتهم الأدبية الوحيدة، أن يقدموا إسهامات علمية أصيلة مستندين إلى المدرستين السابقتين اليونانية والعربية. مع ذلك لم تتوقف الترجمات من العربية إلى العبرية في القرن الرابع عشر الميلادي. فعلى سبيل المثال، ترجم صموئيل بن يهوذا المارسيلي (Samuel ben Judah de Marseille) (المتوفى سنة ١٣٤٠م) إلى العبرية **رسالة ما الفجر والشفق** كتبها إبن معاذ الجياني في إسبانيا في القرن الحادي عشر الميلادي، وقد فقد أصلها العربي[٢١]. وتتعلق هذه الرسالة بمحاولة تحديد ارتفاع الجو بواسطة قياسات قوس انحطاط الشمس عند طلوع النهار أو عند هبوط الليل. والقوس هذا محدد كقوس ينطلق من الشمس (تحت الأفق) إلى الأفق، وهو موجود على دائرة تمر بسمت رأس الراصد. ويستنتج إبن معاذ بواسطة استدلال هندسي واضح، أن ارتفاع الجو هو ٨٠ كيلومتراً تقريباً فوق سطح الأرض، وقد أشار توريشللي أيضاً إلى هذا الارتفاع في العام ١٦٤٤م. بالإضافة إلى ذلك، نقح صموئيل بن يهوذا ترجمة عبرية سابقة لمؤلف جابر بن أفلح **إصلاح**

---

(١٩) المصدر نفسه، مج ١، ص ٤٠ ـ ٤٤.

(٢٠) انظر: G. B. Sarfatti, *Mathematical Terminology in Hebrew Scientific Literature of the Middle Ages* (Jerusalem: [n. pb.], 1968).

(٢١) Bernard Raphael Goldstein, «Ibn Mu'ādh's Treatise on Twilight and the Height of the Atmosphere,» *Archive for History of Exact Sciences*, vol. 17 (1977), pp. 97 - 118.

المجسطي. ويطلعنا بن يهوذا إلى حد ما عن دوافعه للقيام بهذا العمل، فيقول: «عندما توصلت، في هذا العصر، إلى ادراك جيد لهذا العلم الشريف (علم الفلك) ولجميع، أو تقريباً لجميع، العلوم الأخرى، فهمت انطلاقاً من ملحوظات ابن رشد في كتابه حول هذا العلم، أن كل ما هو جيد فيه قد جمع في مؤلف ابن أفلح...»(٢٢).

وتظهر المقارنة بين **مختصر المجسطي** لابن رشد (إسبانيا، القرن الثاني عشر للميلاد) وكتاب ابن أفلح في علم الفلك، سداد رأي صموئيل بن يهوذا.

وهناك مترجم آخر من العصر نفسه اسمه كلونيموس بن كلونيموس (آرل (Arles)، توفي بعد العام ١٣٢٨م)، نقل النسخة العربية لكتاب بطلميوس في **اقتصاص جمل حالات الكواكب المتحيرة** إلى العبرية(٢٣). لم يبق من هذا المؤلف سوى جزء منه باليونانية، أما مناقشة بطلميوس حول المسافات الكونية، التي لعبت دوراً مهماً في النظرية التي كانت سائدة في القرون الوسطى، فقد سلمت فقط في الترجمتين العربية والعبرية. وتفترض نظرية بطلميوس أن النموذج الهندسي، المستخدم للتنبؤ بموقع كوكب ما، يحدد أيضاً المسافات النسبية بين هذا الكوكب والأرض. فأنشأ بذلك مجموعة من الكرات الكوكبية، حيث تغلف كل واحدة منها الأخرى، دون أن يكون هناك حيز فارغ فيما بينها، وتملأ هذه المجموعة الكون بأسره، بحيث تقع الكرة الخارجية، وهي كرة النجوم الثابتة، على مسافة ٢٠,٠٠٠ شعاع أرضي تقريباً.

أما الفلكي الأكثر أصالة والذي كتب بالعبرية، فهو ليفي بن جرسون (١٢٨٨ - ١٣٤٤م)، الذي عاش في أورانج ومكث أحياناً بالقرب من أفينيون (Avignon)(٢٤). وقد وضع مؤلفاً فلكياً طويلاً، يذكر فيه أن نماذج بطلميوس يجب أن تتوافق مع أرصاده الشخصية للظواهر الكوكبية وللكسوفات، وإلا وجب استبدالها بنماذج أخرى تكون أكثر ملاءمة. وفيما يتعلق بالمدرسة البطلمية، فقد ارتكز بشكل أساسي على أعمال البتاني، التي وردت على الأرجح في الترجمة العربية لأبراهام بارحيّا. كما نجد في

---

(٢٢) L. V. Berman, «Greek into Hebrew: Samuel ben Judah of Marseilles, Fourteenth - Century Philosopher and Translator,» in: Alexander Altmann, ed., *Jewish Medieval and Renaissance Studies* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1967), p. 315.

(٢٣) Bernard Raphael Goldstein, «The Arabic Version of Ptolemy's *Planetary Hypotheses*,» reproduction of the entire arabic manuscript, which contains the second part of book I, and a partial english translation, *Transactions of the American Philosophical Society* (N.S.), vol. 57, part 4 (1967), pp. 3 - 55.

(٢٤) Bernard Raphael Goldstein: *The Astronomical Tables of Levi ben Gerson*, Transactions- Connecticut Academy of Arts and Sciences; v. 45 (New Haven, Conn.: Connecticut Academy of Arts and Sciences, 1974), and *The Astronomy of Levi ben Gerson*, Studies in the History of Mathematics and Physical Sciences; 11 (New York: Springer - Verlag, ©1985).

المؤلف الفلكي لليفي بن جرسون جداول مبنية على نماذج جديدة تلبي متطلبات أساس فلسفي صلب وتتوافق مع أرصاده الخاصة. ويستبعد ليفي نموذج أفلاك التدوير، الذي غالباً ما استخدمه بطلميوس، لكنه يقبل نموذج بطلميوس حول نقطة اعتدال المسير، وهو النموذج الذي انتقده بعنف عدد كبير من العلماء المسلمين ومن بينهم ابن الهيثم (القرن الحادي عشر الميلادي) ونصير الدين الطوسي (القرن الثالث عشر الميلادي)[٢٥]. ويبدو أن ليفي لم يكن مطلعاً على الأبحاث الفلكية الهامة التي أجراها علماء مسلمون معاصرون له في العالم الإسلامي الشرقي. وقد عدل ليفي في الأسطرلاب، وهو الآلة المعروفة جيداً في العالم الإسلامي، والتي تستخدم للقيام بالأرصاد، وكذلك لتحويل الإحداثيات[٢٦]. ويتمثل هذا التحويل في إضافة سلم مقياس مستعرض على حافة الأسطرلاب، بهدف إظهار التقسيمات الزاوية الأكثر دقة. وقد استخدم فيما بعد تيكو براهي (Tycho Brahe) (القرن السادس عشر الميلادي) هذا المقياس المستعرض على قوس دائرة، في آلات رصد عالية الدقة[٢٧]. وكان ليفي مدركاً بعض العيوب في نموذج بطلميوس القمري، وقد أشار إليها ابن الشاطر أيضاً (دمشق، القرن الرابع عشر الميلادي)؛ لكن حلول كل منهما كانت مختلفة تماماً[٢٨].

واعترف عمانوئيل بونفيس التراسكوني (Emmanuel Bonfils de Tarascon) (حوالى ١٣٦٠ م) الذي عاش في الجيل الذي تلا جيل ليفي بن جرسون، بفضل الفلكيين المسلمين عليه، ولا سيما منهم البتاني[٢٩]. وقد ترجمت جداوله الشائعة المتعلقة بالشمس والقمر، **الأجنحة الستة**، من العبرية إلى اللاتينية واليونانية البيزنطية. هذا وقد فضل

---

(٢٥) انظر: Shlomo Pines, «La Dynamique d'Ibn Bājja,» dans: *Mélanges Alexandre Koyré,* histoire de la pensée; 12 - 13, 2 vols. (Paris: Hermann, 1964), vol. 1: *L'Aventure de la science,* pp.442-468.

أبو علي محمد بن الحسن بن الهيثم، **الشكوك على بطليموس**، تحقيق عبد الحميد صبره ونبيل الشهابي؛ تصدير إبراهيم مدكور (القاهرة: مطبعة دار الكتب، ١٩٧١)، و Edward Stewart Kennedy, «Late Medieval Planetary Theory,» *Isis,* vol. 57, no. 189 (Fall 1966), pp. 365 - 378.

(٢٦) Bernard Raphael Goldstein, «Levi ben Gerson: On Instrumental Errors and the Transversal Scale,» *Journal for the History of Astronomy,* vol. 8 (1977), pp. 102 - 112.

(٢٧) Hans Henning Raeder, Elis Strömgren and Bengt Strömgren, eds. and trs., *Tycho Brahe's Description of His Instruments and Scientific Work, as Given in Astronomiae Insturatae Mechanica* (Kobenhavn: I. Kommission hos E. Munksgaard, 1946), pp. 29 - 31.

(٢٨) حول ابن الشاطر، انظر: Edward Stewart Kennedy and I. Ghanem, *The Life and Work of Ibn al-Shātir: An Arab Astronomer of the Fourteenth Century* (Aleppo: Institute for the History of Arabic Science, 1976).

(٢٩) Bernard Raphael Goldstein, «The Role of Science in the Jewish Community in Fourteenth Century France,» *Annals of the New York Academy of Sciences,* vol. 314 (1978), pp.39 - 49.

بونفيس جداول البتاني المتعلقة بنماذج بطلميوس على جداول ليفي بن جرسون، مما يثير دهشة الباحثين.

وكان لوقع العلم الآتي من العالم الإسلامي في الشرق صدى كبير استمر لاحقاً. فعلى سبيل المثال، ترجم شلومو بن إلياهو (Schelomo ben Eliyahu) من سالونيك (حوالى العام ١٣٨٠م) من اليونانية البيزنطية إلى العبرية نصاً يسمى **الجداول الفارسية**، ومصادره الأخيرة موجودة في العالم الإسلامي[٣٠]. كما يحتوي نص عبري آخر (الفاتيكان، مخطوطة ٣٨١) على جداول شبيهة بجداول نص عربي مغفل، معروف من خلال عدد من النسخ (مثلاً، باريس، المكتبة الوطنية، مخطوطة المقالة ٢٤٢٨)[٣١]. ويستخدم هذا النص السنة ٦٠٠ من التقويم الفارسي (التي توافق السنة ١٢٣١م) كنقطة انطلاق، فهو بذلك يعود على وجه الاحتمال إلى القرن الثالث عشر للميلاد في العالم الإسلامي الشرقي. لذلك لا بد من إجراء تحاليل أكثر عمقاً، لمعرفة تاريخ هذا النص في العربية وفي العبرية وكذلك في اليونانية البيزنطية، وليس في استطاعتنا الآن معرفة مترجم النص إلى العبرية، كما لا نعلم أين عاش أو أين عمل.

ونجد أيضاً بين مخطوطات المكتبة الوطنية نسخة عن ترجمة عبرية مغفلة لجداول ألغ بك[٣٢]، التي وضعت في منتصف القرن الخامس عشر. وقد كتبت هذه النسخة على وجه الاحتمال في ضواحي البندقية، حوالى العام ١٥٠٠م. إن هذه الترجمة مثيرة للاهتمام بشكل خاص، لأنها تدفعنا إلى الاعتقاد بأن بعض جوانب علم الفلك الإسلامي الشرقي، بل ربما أيضاً نماذج ابن الشاطر القمرية والكوكبية، وصلت إلى الفلكيين الأوروبيين بواسطة اللغة العبرية. فقد لاحظنا حتى الآن صنوفاً من التشابه بين نماذج ابن الشاطر وكوبرنيكوس، لكننا لم نتمكن من إثبات أية طريقة ممكنة لهذا الانتقال[٣٣]. كما أن جداول ألغ بك مذكورة أيضاً في ملحق كتاب صلاة بالعبرية، منشور في البندقية سنة ١٥٢٠م[٣٤]. كذلك تم تحديد هوية نسخة عربية من القرن التاسع عشر لجداول ابن الشاطر، مدونة بأحرف عبرية وموجودة في مدينة حلب في سوريا. وهذا مؤشر آخر عن الوقع الذي أحدثه العلم الإسلامي الشرقي على الطائفة اليهودية[٣٥].

---

(٣٠) Goldstein, «The Survival of Arabic Astronomy in Hebrew,» p. 36.

(٣١) ورد ذكر الترجمة العربية لهذا النص في: Sezgin, *Geschichte des Arabischen Schrifttums,* vol.5: *Mathematik*, p. 324,

تحت اسم أبي الوفاء. ورغم أن هذا الأخير قد ورد ذكره في المقدمة، لكنه ليس مؤلف هذا. لم يتم تحديد الترجمة العبرية، ولم يرد ذكرها من قبل.

(٣٢) مخطوطة عبرية (١٠٩١)، انظر: Goldstein, «The Survival of Arabic Astronomy,» p. 38.

(٣٣) Grażyna Rosińska, «Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī and Ibn al-Shāṭir in Cracow?» *Isis*, vol. 65, no. 227 (June 1974), pp. 239 - 243.

(٣٤) Goldstein, *The Astronomical Tables of Levi ben Gerson*, p. 75.

(٣٥) Goldstein, «The Survival of Arabic Astronomy,» p. 38.

ودرس البحاثة اليهود اليمنيون كثيراً أعمال العلماء المسلمين. فلقد وجد في اليمن عدد كبير من نسخ نصوص عربية مدونة بحروف عبرية، ومن بينها نص في علم الفلك وضعه جابر بن أفلح في القرن الثاني عشر الميلادي في إسبانيا، بالإضافة إلى نص آخر للجداول الفلكية التي وضعها كوشيار بن لبان في القرن الحادي عشر الميلادي في إيران، وهذا يعني أن اليهود اليمنيين كانوا على اتصال بالتقاليد العلمية التي تخص مناطق مختلفة من العالم الإسلامي[٣٦].

واعتبر عدد لا يستهان به من العلماء اليهود، وليس جميعهم، أن التنجيم مادة علمية حقيقية، فكتبوا مقالات تتضمن استشهادات كثيرة. وربما كان أبراهام بن عزرا أكثر المعلقين شهرة في مجال التنجيم، وقد استند في أعماله، إلى حد بعيد، إلى المصادر العربية. كما أنه ترجم إلى العبرية مؤلفاً في التنجيم العربي هو **كتاب الكسوفات** *(Le Livre des éclipses)* لِ ما شاء الله، والذي يحتوي على مناقشة حول تاريخ التنجيم. وقد وردت في هذا المؤلف نظرية تعتبر أن المراحل التاريخية تطابق الفترات الزمنية التي تفصل ما بين اقترانات[٣٧] الكواكب[٣٨]. ومن بين معارضي التنجيم نذكر ابن ميمون، الذي كتب مؤلفاً نقدياً هاجم فيه هذه النظرية، حيث اعتبرها متناقضة مع العلم والدين في آن معاً[٣٩].

ولقد وجدت، بين مستندات الجنيزة في القاهرة، مجموعة مهمة من النصوص التنجيمية مؤلفة من أزياج فلكية وخرائط لبروج السماء بالعربية، بعضها مدون بحرف عربي وبعضها الآخر بحرف عبري. وتعود هذه الأزياج جميعها إلى القرن الثاني عشر الميلادي، وهي تتميز باتباعها التقويم الإسلامي، وبتقديم إسنادات إلى تقاويم أخرى كانت مستخدمة في العالم في القرون الوسطى لم يكن التقويم اليهودي من بينها. وهذا ما يدعو إلى الاعتقاد بأن هذه الأزياج نشأت خارج إطار الطائفة اليهودية، مما يعطينا بعض الإيضاحات حول ميول المسلمين بصدد التنجيم، وكذلك حول اهتمام اليهود بهذا الموضوع[٤٠]. وهنالك

---

(٣٦) Goldstein, «Scientific Traditions in Late Medieval Jewish Communities,» pp. 235 - 247.

حول كوشيار، انظر: Sezgin, *Geschichte des Arabischen Schrifttums,* vol. 6: *Astronomie,* p. 246.

انظر أيضاً: Y. Tzvi Langermann, *The Jews of Yemen and the Exact Sciences* (Jerusalem: [n. pb., n. d.]), in hebrew with an english summary.

(٣٧) اقترانات جمع اقتران وهو التقاء ظاهري بين كوكبين أو أكثر في منطقة واحدة.

(٣٨) Bernard Raphael Goldstein, «The Book of Eclipses of Masha'allah,» *Physis,* vol. 6 (1964), pp. 205 - 213.

(٣٩) I. Twersky, *A Maimonides Reader* (New York: [n. pb.], 1972), pp. 463 - 473.

(٤٠) Bernard Raphael Goldstein and David Pingree: «Additional Astrological Almanacs from the Cairo Geniza,» *Journal of the American Oriental Society,* vol. 103 (1983), pp. 673 - 690, and «More Horoscopes from the Cairo Geniza,» *Proceedings of the American Philosophical Society,* vol. 125, no. 2 (April 1981).

أيضاً نص فلكي صادر عن الجنيزة، قد يكون كتب بمنظور تنجيمي، ونستطيع تحديد تاريخ كتابته في العام ١٢٩٩م(٤١). كما نستطيع أن نثبت بواسطة براهين من داخل النص، أن المؤلف المجهول لهذا المستند العربي المكتوب بأحرف عبرية، مدين لجداول ابن يونس الفلكية (القاهرة حوالى سنة ١٠٠٠م)، التي كانت شائعة أيضاً بين العلماء المسلمين. ومع أن هذا النص مختصر، إلا أنه مفصل بما يكفي ليسمح لنا بكشف أخطاء عديدة من مختلف الأصناف، تظهر حدود فهم المؤلف لعلم الفلك.

لقد ناقش الفلكيون اليهود كثيراً في العصر الوسيط مسألة الآلات العلمية، وهنا أيضاً باستطاعتنا التعرف على تأثير المدرسة العربية. فعلى سبيل المثال، أعطى الحدب (حوالى العام ١٤٠٠م)، المتحدر من أصل إسباني والمهاجر إلى صقلية، وصفاً لصفيحة جامعة لتقويم الكواكب، ابتكرها بنفسه. وقد كان هذا الصنف من الآلات معداً للسماح للفلكيين بتحديد مواقع الكواكب، دون اللجوء إلى حسابات معقدة انطلاقاً من الجداول الفلكية. وفي الحقيقة، فقد تم تصور الكثير من التعديلات والتكييفات البارعة للنماذج الكوكبية لبلوغ هذا الهدف، كما تنبئنا بذلك نصوص عربية ولاتينية، ونصوص عبرية حالياً(٤٢). ويذكر الحدب علماء مسيحيين دون أن يسميهم، بالإضافة إلى الزرقالي (إسبانيا، القرن الحادي عشر الميلادي) وابن الرقام (تونس، القرن الثالث عشر الميلادي) وعلماء مسلمين آخرين.

والخلاصة هي أن العلماء اليهود في العصر الوسيط، وفي بلدان مختلفة، في أوروبا المسيحية كما في العالم الإسلامي، مدينون للعلم العربي، فيما يتعلق بالنص العربي الأصلي وبالترجمة إلى العبرية في آن معاً. فانطلاقاً من هذا الإرث استطاعوا أن يقدموا إسهامهم في مواد علمية مختلفة، خلال عدة قرون.

---

(٤١) Bernard Raphael Goldstein and David Pingree, «Astronomical Computations for 1299 from the Cairo Geniza,» *Centaurus*, vol. 25 (1982), pp. 303 - 318.

(٤٢) Bernard Raphael Goldstein, «Descriptions of Astronomical Instruments in Hebrew,» in: David A. King and George Saliba, eds., *From Deferent to Equant: A Volume of Studies in the History of Science in the Ancient and Medieval Near East in Honor of E. S. Kennedy*, Annals of the New York Academy of Sciences; v. 500 (New York: New York Academy of Sciences, 1987), pp. 105 - 141.

ـ ٩ ـ
تطورات العلم العربي في الأندلس

خوان ڤيرني (*)
خوليو سامسو (**)

مقدمة

يمتد الإطار التاريخي لهذا الفصل[1] من سنة ٧١١م، تاريخ الفتح الإسلامي الأول لشبه الجزيرة الإيبيرية، إلى سنة ١٤٩٢م، تاريخ استيلاء الملوك الكاثوليك على مدينة غرناطة وسقوط بني نصر، آخر السلالات المسلمة المستقلة التي حكمت في إسبانيا. وسندرس ضمن هذا الإطار، تطور العلوم الصحيحة والعلوم الفيزيائية ـ الطبيعية التي وضعت باللغة العربية خلال هذه المدة من الزمن، في ظل السيطرة السياسية للإسلام. ولقد اخترنا أن نستبعد الطب من دراستنا هذه. لكننا لم نستبعد الصيدلة بسبب الارتباط المباشر لعلم تركيب العقاقير، بعلم النبات. موضوعنا، إذن، هو تطور هذه العلوم التي حملتها اللغة العربية، مع أن المصادر التي حفظتها لنا الأيام لم تكن أحياناً باللغة العربية، إنما كانت باللاتينية أو بالعبرية أو بالقشتالية، أو حتى بالكاتالونية. إن نهجنا هذا يقودنا، إذن، إلى إهمال مساهمات «المدجّنين» (Mudéjares) أي المسلمين الذين عاشوا في ظل

(*) أستاذ في جامعة برشلونة.
(**) أستاذ في جامعة برشلونة.
قام بترجمة هذا الفصل شكر الله الشالوحي ونقولا فارس.
(١) الدراسة الوحيدة الشاملة والحديثة العهد هي دراسة: Juan Vernet, *La Ciencia en al-Andalus* (Sevilla: [s. n.], 1986).

سيطرة سياسية مسيحية، كما يقودنا إلى إهمال مساهمات «الموريسكوس» (Moriscos) ، أي المسلمين الذين اعتنقوا المسيحية ظاهرياً، في أواخر القرن السادس عشر وأوائل القرن السابع عشر للميلاد. إن إهمالنا لهذه المساهمات المتواضعة بالفعل، لا ينقص من أهميتها الكبيرة من الناحية الاجتماعية ـ التاريخية. وتجدر الإشارة إلى أن استثناء الطب من دراستنا يعود بشكل رئيس إلى نقص الدراسات الدقيقة في هذا المجال، مع أن أبحاثاً فيما يخص تاريخ العلوم الطبية(٢) قد بدأت بالفعل.

وفيما يتعلق بالإطار الجغرافي لهذه الدراسة، تجدر الملاحظة بأن كلمة «الأندلس» التي نستعملها هنا لا تشير إلى المنطقة الإسبانية التي تحمل حالياً هذا الاسم، بل إلى ما اتفق العرب على إعطائه اسم «الأندلس» وهو كامل إسبانيا المسلمة، أي الواقع السياسي، والثقافي غالباً، الذي طالت حدوده جبال البيرينه في القرن الثامن الميلادي، والذي انكمش تدريجياً بدءاً من ذلك التاريخ، تحت ضغط حملات «الاسترداد» المسيحية، بحيث اقتصر في القرن الثالث عشر، على حدود مملكة غرناطة.

إن هذا التاريخ الذي يمتد على مدى ثمانية قرون ليس معروفاً بشكل متساوٍ. فهو مدروس بشكل لا بأس به حتى القرن الثاني عشر للميلاد وبشكل سيىء فيما بعد، ذلك لأن عصور الانحطاط لا تجتذب كثيراً اهتمام المؤرخين. ومن ناحية أخرى، فإن مقابلة تطور العلم العربي في الأندلس مع تطور قرينه في المشرق تظهر بعض الفوارق الهامة. أول هذه الفوارق هو بقاء علم متواضع وثقافة لاتينية ـ قوطية ـ مستعربة سيطرت حتى منتصف القرن التاسع تقريباً، واستمرت حتى القرن الحادي عشر على الأقل. وقد امتدت عملية طبع العلم الأندلسي بطابع شرقي طوال الفترة الزمنية الواقعة بين عام ٨٥٠ وعام ١٠٣١م تقريباً، أي حتى سقوط خلافة قرطبة: فقد أخذت مساهمات العلوم المشرقية تتضاءل بعد القرن الحادي عشر الميلادي(٣). وبدأ العلم الأندلسي يستقل تدريجياً، ليقتصر ارتباطه على العلاقات الثقافية مع شمالي افريقيا. ولقد شكل القرن الحادي عشر العصر الذهبي لهذا العلم الذي كان يتطور إجمالاً مع فارق زمني عن العلم المشرقي، يناهز قرناً

---

(٢) انظر في هذا الخصوص: Luis García Ballester: *Historia social de la medicina en la España de los siglos XIII al XVI,* colección textos (Madrid: Akal, °1976-), vol. 1: *La Minoría musulmana y morisca,* and *Los moriscos y la medicina: Un capítulo de la medicina y la ciencia marginadas en la España del siglo XVI,* Labor Universitaria. Monografías (Barcelona: Labor, 1984).

(٣) يمكن أن نتابع جيداً تطور هذه المساهمات بفضل الترجمة، انظر: Juan Vernet, *Ce que la culture doit aux arabes d'Espagne,* traduit de l'espagnol par Gabriel Martinez Gros, la bibliothèque arabe, collection l'histoire décolonisée (Paris: Sindbad, 1985); traduction allemande: *Die Spanisch - arabische Kultur in Orient und Okzident* (Zürich; Munich: [n. pb.], 1984).

من الزمن تقريباً. ولقد خف هذا الوهج العلمي ابتداءً من القرن الثاني عشر الذي كان بشكل أساسي عصر العلوم الفلسفية. ولكن الانحطاط لم يبدأ إلا مع القرن الثالث عشر، الذي شهد ولادة حقبة زمنية نشطةٍ علمياً في إسبانيا المسيحية (ألفونس العاشر). ولم تعد الأندلس تتمتع عملياً بمساهمات العلم في الشرق الذي عرف تجدداً في بداية القرن الثالث عشر. وطوال هذه الحقبة غذى علماء الأندلس بشكل خاص علوم الفلك والنبات والطب والزراعة، وغالباً لم يعيروا اهتمامهم إلى الرياضيات. ولكن لا بد من الإشارة إلى أن أبحاثاً حالية حول بعض الشخصيات كالملك المؤتمن ملك سرقسطة وابن معاذ الجياني وابن باجه قد تجعلنا نغير رأينا هذا في مستقبل قريب.

أولاً: بقاء الثقافة الإيزيدورية (٧١١ ـ ٨٥٠م)

لم يكن المسلمون الذين اجتاحوا إسبانيا رجال علم أو قوماً مثقفين. فموجات الاجتياح الأولى تشكلت غالباً من شعوب «البربر»[٤] المعربين حديثاً[٥]، هذا من ناحية. ومن ناحية أخرى، فإن مؤرخي تلك الفترة الإسبانية ـ العربية (وخاصة ابن القوطية) يقدمون لنا بعض الشخصيات العربية الرفيعة التي دخلت شبه الجزيرة الإيبرية في القرن الثامن للميلاد، كشخصيات ذات مستوى ثقافي متدنٍ. ولكننا نستطيع بالطبع إيجاد استثناءات في هذا المجال. فالأموي الأندلسي الأول عبد الرحمن الداخل (٧٥٦ ـ ٧٨٨م) قام، في حديقة قصره، «الرصافة» ـ الذي أعطاه هذا الاسم تيمناً بقصر جده هشام في دمشق ـ بمحاولات لجعل النباتات الشرقية تتأقلم مع المناخ الأندلسي. كما أن عدداً من أفراد حاشيته أجرى تجارب مماثلة. وهكذا تشكلت الخطوة الأولى على طريق إنشاء حدائق علم النبات التي أنشئت في إسبانيا ابتداءً من القرن الحادي عشر[٦]. ولكن هذه الحالات التي تدل على الاهتمام بالعلم في بداية الحكم العربي للأندلس، كانت استثنائية بالفعل. فلقد شاع عند المسلمين أن الحنش الصنعاني، وهو أحد «التابعين»، كان يتمتع ببعد نظر وبقدرة على استباق الأحداث، كما شاع أنه حدد سمت «القبلة» للجوامع الكبرى لمدينتي قرطبة وسرقسطة. ولكن تبين، حتى منذ القرن العاشر، أن تحديد القبلة لجامع قرطبة كان

---

(٤) سكان شمالي أفريقيا الأصليين. (المترجم).

(٥) يعطي غويشار للعنصر العربي في موجات الاجتياح الأولى، أهمية عددية أكبر من تلك التي توليها إياها المراجع الاسبانية التقليدية. ولكن هذا لا يغير من جوهر معطيات الموضوع. انظر:
Pierre Guichard, *Structures sociales «orientales» et «occidentales» dans l'Espagne musulmane,* civilisations et sociétés; 60 (Paris: Mouton, °1977).

(٦) انظر: Julio Samsó, «Ibn Hishām al-Lajmī y el primer jardín botánico en al-Andalus,» *Revista del Instituto Egipcio de Estudios Islámicos en Madrid,* vol. 21 (1981 - 1982), pp. 135 - 141.

تحديداً سيئاً[٧]. ولا شك أن مسألة تحديد الاتجاه كانت من التعقيد بحيث تصعب على معارف ذلك العصر، وفي المحيط الأندلسي بالذات. وفيما يتعلق بالإمكانات المعرفية لذلك العصر، نجد في المصادر التاريخية التي اهتمت باحتلال الأندلس، أسانيد ترتكز على ممارسات العرافة والتنجيم وذلك في الأوساط المسيحية والمسلمة على السواء[٨]. ويمكن وصف التقنيات الخاصة بهذا الشأن، التنجيمية منها أو غير التنجيمية، بأنها نادراً ما كانت دقيقة. ومن جهة أخرى، هناك عدد من المعطيات التي تسمح لنا بالدفاع عن نظرية استمرار التقليد الفلكي والتنجيمي اللاتيني ـ القوطي في الوسط الأندلسي المسلم. فكتاب **ذِكر بلاد الأندلس**، الذي ألفه كاتب مغربي مجهول الاسم، في النصف الثاني من القرن الرابع عشر أو في مستهل القرن الخامس عشر الميلادي، ينسب إلى الملك سيسبوت (Sisebut) (٦١٢ ـ ٦٢١م) كتابات أشعار، حول مسائل تخص علم الفلك والتنجيم والطب. وإننا لا نعلم شيئاً حول كتابات سيسبوت في الطب، ولكنه بدون شك مؤلف الكتاب: *Epistula metrica ad Isidorum de libro rotarum* حيث يعطي تفسيراً عقلانياً وصحيحاً لكسوف الشمس ولخسوف القمر. كما أن الرازي، المؤرخ المعروف، يتحدث عن شهرة إيزيدور الإشبيلي كمنجم. هذه الشهرة التي قد ترجع إلى القسم الفلكي من كتاب **الاشتقاقات**[٩] *(Etymologies)* وإلى كتابه *De natura rerum*[١٠]. وفي الواقع فإن العمل الموسوعي لإيزيدور هو أكثر أهمية مما قد يتصوره المرء للوهلة الأولى. ففي هذا العمل، نجد ذكراً للسنوات ـ الحدود البابلية التي هي في أساس التقاويم الفلكية كتقويم

---

(٧) انظر: Manuela Marín, «Ṣaḥāba et ṭābi'ūn dans al-Andalus: Histoire et légende,» *Studia Islamica*, vol. 54 (1981), pp. 5 - 49.

وحول تحديد القبلة في الأندلس، انظر: David A. King, «Three Sundials from Islamic Andalusia,» *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 2, no. 2 (November 1978), pp. 358 - 392, reprinted in: David A. King, *Islamic Astronomical Instruments* (London: Variorum Reprints, 1986), and Julio Samso, «En torno al problema de la determinación del acimut de la alquibla en al-Andalus en los siglos VIII y IX: Estado de la cuestión e hipótesis de trabajo,» in: *Homenaje a Manuel Ocaña Jiménez* (Córdoba: Junta de Andalucia, Consejeria de Cultura, 1990), pp. 207 - 212.

(٨) انظر: Manuela Marín, «*'Ilm al-nujūm* et *'Ilm al ḥidthān* en al-Andalus,» paper presented at: *Actas del XII Congreso de la U.E.A.I.* (Madrid: [n. pb.], 1986), pp. 509 - 535, and Julio Samsó, «Astrology, Pre - Islamic Spain and the Conquest of al-Andalus,» *Revista del Instituto Egipcio dė Estudios Islámicos*, vol. 23 (1985 - 1986), pp. 39 - 54.

(٩) أو «علوم الاشتقاق»، أو المشتقات. (المترجم).

(١٠) انظر: Julio Samsó, «Nota sobre la biografía de Sisebuto en un texto árabe anónimo,» in: *Serta Gratulatoria in honorem Juan Régulo* (La Laguna: [n. pb.], 1985), vol. 1: *Filología*, pp.639 - 642.

الزرقالي مثلاً (١١).

ولكن الأثر الأكثر وضوحاً لاستمرارية التقليد اللاتيني ـ القوطي في مجال التنجيم يوجد في مؤلف لألفونس العاشر هو *Libro de las Cruzes*. وهذا الكتاب هو ترجمة قشتالية لنص تنجيمي عربي اكتشفت حديثاً عدة مقاطع منه(١٢)؛ من بين هذه المقاطع تسعة وثلاثون بيتاً من أرجوزة شعرية لعبد الواحد بن اسحق الدبّي، وهو منجم بلاط الأمير هشام الأول (٧٨٨ ـ ٧٩٦م)؛ وهذه الأبيات تقع في الفصل السابع والخمسين من كتاب ألفونس العاشر *Libro de las Cruzes*(١٣). وهكذا يكون لدينا نص هو، على حد علمنا، المصدر التنجيمي الأندلسي الأقدم والذي، إضافة إلى ذلك، كتب في عصر لا نعرف فيه وجوداً لأي أثر عن دخول النصوص التنجيمية الشرقية، ـ من التقليد الهندي أو الفارسي أو اليوناني ـ إلى الأندلس. نضيف إلى هذا، أن النصوص العربية التي حفظتها الأيام، وكذلك النسخ القشتالية لمؤلف ألفونس تشدد على أن «طريقة أحكام الصلوب» كانت المنهج القديم للتكهن التنجيمي الذي مارسه «روم» الأندلس وافريقيا والمغرب قبل إدخال مناهج المنجمين الشرقيين الأكثر تطوراً.

من كل هذا، نستنتج أن كتاب *Libro de las Cruzes* هو الشكل الأكثر تطوراً لموجز في التنجيم يعود أصله إلى اللاتينية الأولى، كان يستعمل في إسبانيا وأفريقيا الشمالية قبل الفتح الإسلامي. وقد استمر هذا النوع من التقنيات التنجيمية إلى ما بعد مرحلة «تشريق» الأندلس؛ فلدينا ما يدعو إلى الاعتقاد بأنه استخدم من قبل منجمي المنصور بن أبي عامر (٩٨١ ـ ١٠٠٢م)(١٤)؛ وقد أعيد النظر فيه فيما بعد ـ ربما في القرن الحادي عشر ـ من قبل المدعو عبيد الله والذي يعتبره المؤرخون، عادة، عبيد الله الإستيجي، وهو منجم معاصر لـ «صاعد» قاضي طليطلة. ولا بد أن هذا النوع من التقنيات بقي متداولاً حتى

---

(١١) انظر: Julio Samsó, «Astronomica Isidoriama,» *Faventia,* vol. 1 (1979), pp. 167 - 174.

(١٢) انظر: Juan Vernet, «Tradición y innovación en la ciencia medieval,» in: Juan Vernet, *Estudios sobre Historia de la Ciencia Medieval* (Barcelona; Bellaterra: [n. pb.], 1979), pp. 173-189, and Rafael Muños, «Textos árabes del *Libro de las Cruces* de Alfonso X,» in: Juan Vernet, éd., *Textos y Estudios sobre Astronomía Española en el siglo XIII* (Barcelona: Facultad de Filosofia y Litras, Universidad Autónoma de Barcelona, 1981), pp. 175 - 204.

(١٣) انظر تحقيق وترجمة هذا النص في: Julio Samsó, «La Primitiva versión árabe del Libro de las Cruces,» in: Juan Vernet, éd., *Nuevos Estudios sobre Astronomía Española en el siglo de Alfonso X* (Barcelona: Instituto de Filologia, Institución «Milá y Fontanals», Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1983), pp. 149 - 161.

(١٤) انظر: Juan Vernet, «Astrología y política en la Córdoba del siglo X,» *Revista del Instituto Egipcio de Estudios Islámicos,* vol. 15 (1970), pp. 91 - 100.

القرن الثالث عشر، حيث أن ألفونس العاشر أمر بترجمة الكتاب المذكور[(١٥)].

يجب ألا نستغرب احتمال أن يكون أصل كتاب **أحكام الصلوب** لاتينياً، لأن هذا الاحتمال يؤكد معلوماتنا عن الثقافة الأندلسية لذلك العصر. فلقد كان أولوج القرطبي ـ وهو وجه عرف كملهم للحركة الإسبانية الغربية المسماة «الشهداء المتطوعون» والتي بدأت عام ٨٥٠م ـ مولعاً بالكتب اللاتينية. وقد وجد في مكتبته كتاب *Codex R.II 18* *(Ovetense)* من إسكوريال الذي يحوي جزءاً من كتاب *De natura rerum* لإيزيدور الإشبيلي ونصوصاً جغرافية (متفرعة من كتاب **الاشتقاقات** ومن مصادر أخرى) كما يحوي بياناً بالكسوفات للعامين ٧٧٨ و٧٧٩م وجدول مكتبة كنيسة قرطبة. . . الخ. وهذه المحتويات كلها مرفقة بملحوظات هامشية باللغة العربية، نجد مثلها في مخطوطات لاتينية أخرى حاوية على كتاب **الاشتقاقات**. والمصدر الأكثر إثارة للانتباه هو الخريطة الجغرافية الإيزيدورية الشهيرة التي وضعت على شكل الحرف اللاتيني T والمحفوظة ضمن مخطوطة في المكتبة الوطنية في مدريد، حيث كتبت التعليقات عليها باللغة العربية. وهذا يدل على أنها رسمت إما من قبل عربي يعرف جيداً التقليد الإيزيدوري أو من قبل مستعرب[(١٦)]. وبالانتقال من مجال الجغرافيا إلى مجال التاريخ تصبح الأدلة أكثر وضوحاً. لكن بحثنا هذا ليس المكان الملائم للتوسع والاستطراد. يكفي هنا أن نشير إلى الترجمة العربية التي جرت في قرطبة لكتاب *Historiarum adversos paganos libri septem* الذي ألفه باولوس أروسيوس[(١٧)]. فهذه الترجمة التي جرت في زمن لاحق للمرحلة التي تهمنا، تشكل مثلاً يثبت صحة ما تقدم.

ولنعد الآن إلى مجال تاريخ العلوم، فسوف نتعرض لاحقاً إلى العناصر الثقافية «المستعربة» الموجودة في كتاب **تقويم قرطبة** *(Calendrier de Cordoue)*.

---

(١٥) في ما يتعلق بالتقنيات التي استعملها المنجمون الذين يتبعون «طريقة أحكام الصلوب»، انظر: Julio Samsó: «The Early Development of Astrology in al-Andalus,» *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 3, no. 2 (Fall 1979), pp. 228 - 243, et «En torno a los métodos de cálculo utilizados por los astrólogos andalusíes a fines del s. VIII y principios del IX: Algunas hipótesis de trabajo,» paper presented at: *Actas de las II Jornadas de Cultura Arabe e Islámica* (Madrid: [n. pb.], 1985), pp. 509 - 522, et M. D. Poch, «El concepto de *quemazón* en el *Libro de las Cruzes*,» *Awrāq*, vol. 3 (1980), pp. 68 - 74.

(١٦) انظر: Gonzalo Menéndez Pidal, «Mozárabes y asturianos en la cultura de la Alta Edad Media en relación especial con la historia de los conocimientos geográficos,» *Boletín de la Real Academia de la Historia*, vol. 134 (1954), pp. 137 - 291.

(١٧) من بين المراجع العديدة المتعلقة بالموضوع نكتفي بالمقالة الحديثة لعبد الرحمن بدوي، في: باولوس أروسيوس، تاريخ العالم، تحقيق عبد الرحمن بدوي (بيروت: [د. ن.]، ١٩٨٢).

إن قراءة الفصل المتعلق بأطباء الأندلس في كتاب طبقات الأطباء والحكماء لابن جلجل الأندلسي[١٨]، مفيدة جداً في فقرتنا هذه. فالمؤلف يشير إلى أن الإسبان كانوا في أساس العلوم الطبية في الأندلس حتى عهد عبد الرحمن الثالث الناصر (٩١٢ ـ ٩٦١م) ويقول: «قد مورس الطب في الأندلس استناداً إلى واحد من كتب المسيحيين الذي تمت ترجمته. كان الكتاب يحمل عنوان *Aphorisme*، وتعني الكلمة كونه مصنفاً». وليس المقصود من عبارة «aphorisme» هنا التلميح إلى كتاب الـ *Aphorismes* لأبقراط أو التيمّن بهذا المؤلف. ذلك لأن هذه الكلمة تشير، كما يقول إيزيدور الاشبيلي (انظر كتاب الاشتقاقات، ٤، ١٠)، حسب المصطلحات الطبية، إلى نوع من أنواع الكتابات الأدبية. ومن جهة أخرى، فمن بين الأطباء الستة الذين أتى ابن جلجل على ذكرهم إبان إمارات محمد (٨٥٢ ـ ٨٨٦م) والمنذر (٨٨٦ ـ ٨٨٨م) وعبد الله (٨٨٨ ـ ٩١٢م)، خمسة هم مسيحيون، يحمل اثنان منهم اسمين غير اعتياديين: حمدين بن أبّه وخالد بن يزيد بن رمان. كما أن أحد أولئك الأطباء الخمسة، المدعو جواد هو مؤلف كتاب عقار الراهب.

ولقد تغير هذا الوضع مع عبد الرحمن الثالث، ولكن التقليد الطبي اللاتيني استمر في شخص يحيى بن اسحق وهو ابن طبيب مسيحي كتب خمسة دفاتر في كتاب *Aphorismes*. ويروى أن يحيى بن اسحق استشار أحد الرهبان بخصوص حالة التهاب أصاب أذن الخليفة. كل هذا يؤكده الطبيب سعيد بن عبد ربه (ت حوالى ٩٥٣ ـ ٩٧٧م) الذي يقول في مؤلفه أرجوزة في الطب: «إن أقصى الحدود (في الطب) لن يتم بلوغها إلا من قبل من سوف يتعرف إلى النصوص القديمة المترجمة عن العربية» (انظر المعربات)[١٩].

وتتجلى استمرارية التقليد اللاتيني في مجال ثالث هو مجال علم الزراعة. فحتى تاريخ حديث جداً، كانت مقبولة بشكل عام، فكرة وجود مباشر لتقليد كولوميلا (Columela) بين علماء الزراعة الأندلسيين. وكان مقبولاً أن نصل إلى حد افتراض وجود ترجمة عربية أنجزت في إسبانيا لكتاب *De re rustica* الذي ألفه كولوميلا. ولقد ارتكزت هذه النظرية على استشهادات ساقها ابن حجاج (حوالى ١٠٧٣م) عن كاتب يدعى يونيوس (Yûnyûs)، الذي درجت مطابقته مع Iunius Moderatus Columela[٢٠]، أي مع كولوميلا. ولكن، في العام ١٩٧٨، نسف المؤرخ روجرز (Rodgers) هذه النظرية مظهراً أن تشابه

---

(١٨) انظر: Juan Vernet, «Los médicos andaluces en el *Libro de las generaciones de médicos* de Ibn Ghulghul,» in: Vernet, *Estudios sobre Historia de la Ciencia Medieval*, pp. 469 - 486.

(١٩) انظر: R. Kühne, «La *Urjūza fī-l-ṭibb* de Sa'īd Ibn 'Abd Rabbihi,» *Al-Qanṭara*, vol. 1 (1980), pp. 279 - 338.

(٢٠) انظر التحقيق الحديث لـ كتاب المقنع في الفلاحة لابن الحجاج الذي قام به:
J. M. Carabeza, «La Edicion jordana de *al-Muqni'* de Ibn Haŷŷāŷ: Problemas en torno a su autoría,» *Al-Qanṭara*, vol. 11 (1990), pp. 71 - 81.

استشهادات يونيوس مع بعض مقاطع *De re rustica*، يعود بالأحرى إلى تطابق المواضيع المعالجة، كاشفاً عن تناقضات بين هذين العملين، مظهراً أننا نجد المزيد من التشابه عندما نقابل استشهادات يونيوس مع المؤلف الزراعي الذي كتبه Vindanios Anatolios de Berito والمحفوظ في ترجمة عربية مشتقة من ترجمة سريانية سابقة. فيكون يونيوس إذاً ـ حسب روجرز وعطية ـ تحويراً لاسم Vindanios[٢١].

غير أنه، وعلى الرغم من الضربة التي تلقتها نظرية وجود تقليد كولوميلا في العلوم الزراعية في الأندلس، فقد حافظ، حتى أكثر الكتاب تحفظاً، على فكرة بقاءٍ لعلم الزراعة اللاتيني في إسبانيا المسلمة (وبقاء التقليد اللاتيني شكل، بالنسبة إلى بعض العلماء، سبباً من أسباب الفوارق الأساسية بين علم الزراعة الأندلسي ونظيره الشرقي). إن استمرار هذا الاقتناع يعود إلى أن ابن حجاج يؤكد ارتكازه على تقليد «الروم» (المستعربين) في الأندلس وأن ابن العوام (القرن الثاني عشر أو النصف الأول من القرن الثالث عشر للميلاد) يقول بأنه جمع آراءه من كتاب غير مسلمين. ولم يذكر ابن العوام أي اسم، لكنه كان يقدم استشهاداته بجمل مثل: «يقول بعض علماء الزراعة. . .» و«يقول آخرون. . .». ولقد توصل المؤرخ عطية إلى تحديد أحد مصادر ابن العوام التي لا اسم لها، وذلك ضمن مخطوطة عربية في المكتبة الوطنية في باريس. ويفترض بأن كاتب هذا المصدر إسباني، لأنه يدافع بشراسة عن طريقة إنجيلية لإخصاب الشجرة العاقر عن طريق تهديدها بالفأس. وهذا المصدر هو رسالة صغيرة من القرن العاشر الميلادي ألفها مستعرب يتمتع بثقافة عربية معمقة، يأتي على ذكر المؤلفين المعروفين من خلال كتبهم العربية الشرقية. ومن ناحية أخرى، نذكر بأن عطية نفسه يعتقد بوجود ترجمة إسبانية ـ عربية لإنجاز Martial[٢٢] في العلم الزراعي.

(٢١) انظر: R. H. Rodgers, «¿Yūniyūs o Columela en la España Medieval?» *Al-Andalus,* vol. 43 (1978), pp. 163 - 172.

(٢٢) انظر: Bachir Attié: «Ibn Ḥaǧǧāǧ était-il polyglotte?» *Al-Qanṭara,* vol. 1 (1980), pp.243-261; «L'Ordre chronologique probable des sources directes d'Ibn al- 'Awwām,» *Al- Qanṭara,* vol. 3 (1982), pp. 299 - 332, et «La Bibliographie de *al-Muqni'* d'Ibn Ḥaǧǧāǧ,» *Hespéris - Tamuda,* vol. 19 (1980 - 1981), pp. 47 - 74.

النص المتعلق بعلم الزراعة الذي يعتبره عطيّة عائداً لكاتب مسيحي، نُشر حديثاً بواسطة:

A. C. López, *Kitāb fī tartīb awqāt al-girāsa wa-l-magrūsāt: Un tratado agrícola andalusí anónimo* (Granada: [n. pb.], 1990).

ثانياً: تطور الثقافة الشرقية (٨٥٠ ـ ١٠٣١م)

إن اللوحة التي رسمناها حتى الآن هي وحيدة الجانب. فلقد شددنا على بقاء ثقافة لاتينية ـ قوطية في العلوم الأندلسية، لأن هذا البقاء يشكل السمة الأكثر تمييزاً. ولكننا لا ندعي أنها السمة الوحيدة. ومن ناحية أخرى، فإن الحدود الزمنية لعرضنا هذا هي عبارة عن نقاط استدلال بسيطة. فلقد قدمنا عدداً وافياً من الأمثلة التي تبرهن أن الثقافة اللاتينية قد استمرت إلى ما بعد سنة ٨٥٠م متعايشة مع الثقافة العربية.

ومن ناحية أخرى، وعلى الأقل منذ أن اعتلى أول أموي العرش سنة ٧٥٦م، بدأت عملية تشريق الثقافة الأندلسية، بمرحلة أولى طبعت بالتأثير السوري، تلتها مرحلة من التأثير العراقي الذي بدأ مع القرن التاسع وتوطد في ظل إمارة عبد الرحمن الثاني (٨٢١ ـ ٨٥٢م)[٢٣]. فالمسافرون الذين ذهبوا إلى الشرق إما للدراسة أو لأداء فريضة الحج كانوا يعودون بآخر المستجدات. فلقد أضحى الجامع الكبير لمدينة قرطبة الذي أسسه سنة ٧٨٦م، عبد الرحمن الأول، مركزاً لنشر الثقافة. وأدخلت ببطء، علوم الطب والفلك والرياضيات في التعليم العالي الذي كان يجري في الجوامع أو في بيوت خاصة (ولقد ظهرت «المدرسة» بعد هذه المرحلة بمدة طويلة)[٢٤].

إننا لا نعرف شيئاً عن تطور مؤسسات علمية أخرى كالمستشفيات (التي وجدت بالتأكيد) أو المراصد (التي قد يشك بوجودها) ولكن الأمر يختلف فيما يتعلق بالمكتبات[٢٥]. واهتمام بعض الأمراء الثابت بالكتب كان أمراً معروفاً. فلقد كان عبد الرحمن الثاني من قراء الكتب الفلسفية والطبية، ولقد أرسل عباس بن ناصح إلى الشرق ليشتري له الكتب. هذا، ومن الثابت وجود مكتبة ملكية منذ إمارة محمد (٨٥٢ ـ ٨٨٦م)، تطورت بشكل هائل في ظل إمارة الحكم الثاني (٩٦١ ـ ٩٧٦م)؛ فقد شاع أن

---

(٢٣) إن عملية التشريق هذه قد وصفت بدقة من وجهة نظر تاريخ الثقافة الأندلسية، بواسطة المؤرخ مكي.

(٢٤) حول التعليم في الأندلس، انظر: J. Ribera, «La Enseñanza entre los musulmanes españoles,» in: *Disertaciones y Opúsculos* (Madrid: [n. pb.], 1928), vol. 1, pp. 229 - 359, and محمد عبد الحميد عيسى، **تاريخ التعليم في الأندلس** (القاهرة: دار الفكر العربي، ١٩٨٢).

(٢٥) انظر: J. Ribera, «Bibliófilos y bibliotecas en la España Musulmana,» in: *Disertaciones y Opúsculos*, vol. 1, pp. 181 - 228.

هذه المكتبة ضمت في ظل خلافته أربعمئة ألف مجلد. ولا يغير في هذا الواقع كون هذا الرقم مبالغاً فيه (نفس الرقم كان ينسب لعدد مجلدات مكتبة الإسكندرية الكبرى). ومن ناحية أخرى، بدأت تظهر مكتبات عديدة خاصة خلال القرنين العاشر والحادي عشر في قرطبة وإشبيلية وألَمرِيَّة وبداخُس وطليطلة وسرقسطة.. الخ.

وقد يعود الى عبد الرحمن الثاني الدور الأساسي في تشريق الثقافة العلمية. ويروي مؤلف مغربي مجهول الاسم من القرن الرابع عشر أو الخامس عشر، أنه «أول من أدخل كتب الازياج»، أي أول من أدخل الجداول الفلكية إلى الأندلس. كما أنه أول من أدخل إلى الأندلس كتب الفلسفة والموسيقى والطب وعلم الفلك[٢٦]. ففي عصره أدخل عباس بن فرناس (ت ٨٨٧م)[٢٧] أو سَميُّه عباس بن ناصح (ت بعد ٨٤٤م)[٢٨] نسخة من جداول السندهند التي درج اعتبارها جداول الخوارزمي. ولربما كان الدفتر المحكم الذي يذكره عباس بن فرناس في شعره هو زيج أيضاً[٢٩]. وعلى كل حال توصل التنجيم لأن يصبح علماً مرموقاً في بلاط قرطبة حيث أحاطت بالأمير حاشية من الشعراء المنجمين مثل ابن فرناس وابن ناصح ويحيى الغزال[٣٠] وابن شمر[٣١]. وقد يعود هذا الاهتمام الذي أولاه الأمير للتنجيم، إلى الأحداث الفلكية الهامة التي حصلت خلال خلافته. فكسوف الشمس الذي حصل في ١٧ أيلول/ سبتمبر سنة ٨٣٣م والذي كان كلياً تقريباً في قرطبة أرعب سكان المدينة دافعاً بهم إلى الجامع الكبير لإقامة طقوس الصلاة. كما حصل سقوط كثيف للنيازك ما بين ٢٠ نيسان/ ابريل و١٨ أيار/ مايو سنة ٨٣٩م. ومنذ ذلك العهد على الأقل، أصبح المنجم من الشخصيات التي تتمتع بثقة الأمراء، ومن ثم بثقة الخلفاء، مما أثار غيرة، وحفيظة، الفقهاء وبعض الشعراء. ولدينا العديد من الشهادات التي تدل على

---

(٢٦) انظر: L. Molina, éd., *Una descripción anónima de al-Andalus* (Madrid: [n. pb.], 1983), vol. 1, p. 138.

(٢٧) انظر: E. Terès, «‘Abbās b. Firnās,» *Al-Andalus*, vol. 25 (1960), pp. 239 - 249.

(٢٨) انظر: E. Terès, «‘Abbās Ibn Nāṣiḥ, poeta y qāḍī de Algeciras,» dans: *Etudes d'orientalisme dédiées à la mémoire de Lévi - Provençal*, 2 vols. (Paris: G. - P. Maisonneuve et Larose, 1962), vol. 1, pp. 339 - 358.

(٢٩) انظر: ابن حيان، **المقتبس من أنباء أهل الأندلس**، تحقيق م. علي مكي (بيروت: [د. ن.]، ١٩٧٣)، ص ٢٨١ ـ ٢٨٢.

(٣٠) انظر: Vernet, «Tradición y innovación en la ciencia medieval,» pp. 173 - 189.

(٣١) انظر: E. Terès, «Ibn al-Šamir, poeta astrólogo en la corte de ‘Abd al-Raḥmān II,» *Al-Andalus*, vol. 24 (1959), pp. 449 - 463.

المواقف الكلامية المعادية للتنجيم والتي لم تتوقف عند هذا الحد بل أصبحت في القرنين التاسع والعاشر للميلاد مواقف معادية لعلم الفلك أيضاً(٣٢).

وعرفت هذه المرحلة إدخال مستجدات علمية عديدة إلى الأندلس، بشكل متواصل. ويكفي هنا إعطاء بعض الأمثلة. فقد يعود فضل كبير في التشريق في مجال الطب إلى وجود طبيب في قرطبة يدعى الحرّاني، مارس الطب في بلاط عبد الرحمن الثاني. وابن جلجل الذي يذكر هذا الطبيب، يأتي أيضاً على ذكر حفيديه (؟) أحمد وعمر بن يونس الحراني، اللذين كانا طالبين في بغداد، إلى جانب ثابت بن سنان بن ثابت بن قرة الذي كان أيضاً حرانياً، وهذا يظهر استمرارية في التقليد الذي بدأ مع الحرّاني الجد. ولقد أوحي بأن هذين الحرانيين، بعودتهما إلى الأندلس قد يكونان أدخلا إليها تقنيات السحر الطلسمي التي أعطت ثمارها في إسبانيا القرن الحادي عشر مع كتاب **غايات الحكيم** *(Picatrix)* لأبي مسلمة المجريطي. وفي القرن العاشر أيضاً استخدم ابن جلجل مصادر لاتينية وعربية لكي يؤلف كتابه **طبقات الأطباء والحكماء**. ومن بين هذه المصادر، **كتاب الألوف** لأبي معشر؛ وتجلى الاهتمام لهذا النوع من التنجيم أيضاً في مقدمة كتاب *Liber Universus* لعمر بن فرخان الطبري في قرطبة حوالى القرن العاشر للميلاد(٣٣).

وفي هذا القرن أدخلت أيضاً إلى الأندلس **رسائل إخوان الصفا** والـ *Tabula Smaragdina*(٣٤)، كما كتب يحيى بن إسحق موجزاً في الطب شكل حصيلة لكل الطب الإغريقي المعروف في عصره(٣٥). وكذلك قدم ابن جلجل لائحة بستة عشر مؤلفاً لجالينوس كان يفترض بكل طالب في الطب أن يعرفها(٣٦).

وفي المنتصف الثاني من القرن التاسع أصبح بإمكان العلم الأندلسي أن يكون منتجاً. وبهذا الصدد، فإن أبرز الوجوه العلمية كان عباس بن فرناس الذي توفي عام ٨٨٧م والذي

---

(٣٢) انظر: Samsó, «The Early Development of Astrology in al-Andalus,» pp. 228 - 243.

(٣٣) انظر: David Pingree, «The *Liber Universus* of 'Umar Ibn al-Farrukhān al-Ṭabarī,» *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 1, no. 1 (May 1977), pp. 8 - 12.

(٣٤) انظر: S. M. Stern, «A Letter of the Byzantine Emperor to the Court of the Spanish Umayyad Caliph al-Ḥakam,» *Al - Andalus*, vol. 26 (1961), pp. 37 - 42.

(٣٥) انظر: Max Meyerhof, «Esquisse d'histoire de la pharmacologie et botanique chez les musulmans d'Espagne,» *Al-Andalus*, vol. 3 (1935), surtout p. 6.

(٣٦) انظر: أبو داود سليمان بن حسان بن جلجل، **طبقات الأطباء والحكماء**، تحقيق فؤاد سيد، مطبوعات المعهد العلمي الفرنسي للآثار الشرقية بالقاهرة، نصوص وترجمات؛ ١٠ (القاهرة: المعهد العلمي الفرنسي للآثار الشرقية، ١٩٥٥)، ص ٤٢.

لم يشتهر فقط كشاعر ومنجم، بل انه قام بمحاولات للطيران في قصر الرصافة في قرطبة (مما يذكرنا بمحاولات مماثلة جرت في إنكلترا في القرن الحادي عشر قام بها الراهب إلمِر دو مالمسبوري (Eilmer de Malmesbury). كما أدخل عباس بن فرناس تقنية جديدة لقطع البلور الصخري (الكريستال)، وبنى قبة فلكية (نوعاً من البلانيتاريوم) في إحدى غرف منزله، كما صنع كرة فلكية محلقة أهداها لعبد الرحمن الثاني، وأخيراً صنع ساعة مائية ذات حركة آلية. هذه الساعة «الميقاتة» أو «المينقانه» كانت تسمح بتحديد أوقات الصلاة الشرعية عندما لا تكون الشمس أو النجوم ظاهرة للعيان، وقد أهداها إلى الأمير محمد[٣٧].

لقد كان عباس بن فرناس وجهاً استثنائياً في إطار القرن التاسع. ولم يكن عالماً بالفعل ولكنه كان جليساً للأمراء، موهوباً، يتمتع بفضول علمي موسوعي ويعرف كيفية استخدام معارفه. أما التطور الحقيقي للعلم في الأندلس فقد جرى في القرن التالي ولا سيما في النصف الثاني منه، حيث سنجد:

١ ـ تقويماً شعبياً هو «تقويم قرطبة»، الذي يحوي أولى الشهادات المعروفة عن علم «الميقات» الأندلسي.

٢ ـ تطور «علم عقاقير» أصيل.

٣ ـ مدرسة مسلمة في مدريد، التي شكلت نقطة انطلاق علم الفلك الإسباني ـ العربي.

١ ـ تقويم قرطبة[٣٨]

قام بهذا التقويم الطبيب والمؤرخ عريب بن سعيد[٣٩] والأسقف المستعرب ربيع بن زيد (Recemund) وذلك لصالح الحكم الثاني، قبيل (أو بعد) توليه الخلافة (٩٦٠م).

(٣٧) انظر: Juan Vernet, «La Supervivencia de la astronomía de Ibn al-Bannā',» *Al-Qantara,* vol. 1 (1980), pp. 447 - 451, et «Mármol, obra de Zarquel,» dans: *Hommage à Georges Vajda* (Louvain: [s. n.], 1980), pp. 151 - 154.

(٣٨) انظر: 'Arib Ibn Sā'id al-Kātib al-Qurtubī, *Le Calendrier de Cordoue,* publié par R. Dozy, nouvelle édition accompagnée d'une traduction française annotée par Ch. Pellat, Medieval Iberian Peninsula, Texts and Studies; v. 1 (Leiden: E. J. Brill, 1961), et José Martínez Gázquez and Julio Samsó, «Una nueva traducción latina del Calendario de Córdoba (siglo XIII),» in: Vernet, éd., *Textos y Estudios sobre Astronomía Española en el siglo XIII,* pp. 9 - 78.

(٣٩) حول هذه الشخصية، انظر: A. C. López, «Vida y obra del famoso polígrafo cordobés del s. X 'Arīb Ibn Sa'īd,» in: E. García Sánchez, éd., *Ciencias de la Nuturaleza en al-Andalus: Textos y Estudios* (Granada: [n. pb.], 1990), vol. 1, pp. 317 - 347.

ونستطيع أن نجد في هذا المؤلف خليطاً عجيباً من التقاليد المختلفة: التقليد اليوناني والتقليد المستعرب (حيث نجد استنادات إلى أعياد القديسين المسيحيين وإلى الممارسات الزراعية الاعتيادية في إسبانيا) والتقليد العربي الجاهلي (حيث نجد التنبؤات والأرصاد الجوية المبنية على نظام «الأنواء»)؛ وأخيراً نجد التقليد اليوناني ـ الإسكندري (حيث نجد إشارات تتعلق بالحمية الغذائية ينسبها النص إلى مدرسة أبقراط وجالينوس والتي تتوافق تماماً مع كتاب **الأغذية لأبقراط**)(٤٠).

ولكننا نجد أيضاً في هذا التقويم ظهوراً لعلم الفلك الجديد الذي أتت به الثقافة العربية الإسلامية والذي يستند إلى التقليد الهندي ـ الإيراني وإلى التقليد البطلمي. فنص التقويم يقدم لنا زمن دخول الشمس في الأبراج الإثني عشر حسب كتاب **السندهند** وحسب كتاب **أصحاب المتهن**. وقد استطعنا أن نتحقق بأن الأول هو كتاب **الزيج** للخوارزمي وأن الثاني قد يكون **زيج البتاني**(٤١).

ومن ناحية أخرى، نجد في هذا التقويم سلسلة كاملة من القيم العددية، تظهر أن الأندلس في القرن العاشر قد عرفت تقليداً في «علم الميقات»(٤٢)، معروضاً للمرة الأولى في هذا التقويم. فالنص يحتوي على:

(١) ثلاثة وعشرين ارتفاعاً زوالياً للشمس، موزعة على مدار السنة، تتناسب مع خط العرض 30° ; 37 (وهو مأخوذ لقرطبة ومسجل في إحدى مخطوطات **جداول طليطلة**)، كما تتناسب مع انحراف قدره 50° ; 23 (وهي الرقم المدور للقيمة: 23; 51, 20° البطلمية).

(٢) الظلال المقابلة للارتفاعات الزوالية السابق ذكرها، المحسوبة على أساس أن طول شاخص المزولة، g، يساوي الوحدة (g = 1)، ذلك لأن ارتفاع الشاخص المستخدم يساوي قامة الرجل. ويبدو أن هذه القيم مشتقة من جدول توجد فيه g بقيمة ١٢ (g = 12). وقد تكون مشتقة من جدولين من النوع نفسه، يحتمل أن احتسابهما قد تم استناداً إلى علم الحساب، أحدهما يعطي الظل الذي يقابل دخول الشمس في الأبراج، أما الآخر فيعطي

---

(٤٠) انظر: Julio Samsó, «La Tradición clásica en los calendarios agrícolas hispanoárabes y norteafricanos,» paper presented at: *Segundo Congreso Internacional de Estudios sobre las Culturas del Mediterráneo Occidental* (Barcelona: [n. pb.], 1978), pp. 177 - 186.

(٤١) انظر: Juan Vernet, «La Ciencia en el Islam y Occidente,» in: Vernet, *Estudios sobre Historia de la Ciencia Medieval*, pp. 21 - 60 and especially pp. 28 - 30.

(٤٢) حول التقليد الأندلسي للميقات، انظر: King, «Three Sundials from Islamic Andalusia,» pp. 358 - 392.

وحول رؤية الهلال الجديد، انظر: David A. King, *Islamic Mathematical Astronomy*, Variorum Reprint; CS 231 (London: Variorum Reprints, 1986).

الظل الذي قابل مرورها في وسط كل برج.

(٣) أربع وعشرين قيمة (قيمتان للشهر الواحد) تقابل طول النهار وطول الليل على مدار السنة. وهذه القيم قد تم احتسابها باستخدام الوسائط نفسها (جمع وسيط، بارامتر.. (المترجم)) المذكورة أعلاه، استناداً إلى علم المثلثات وهي إجمالاً صحيحة.

(٤) ثمانٍ وعشرين قيمة لمدة الغسق. وسلسلة القيم هذه هي الأكثر إثارة للدهشة؛ فيبدو أنها احتسبت تبعاً لقوس انخفاض شمسي قيمته 17° وباستخدام صيغة تقريبية شبيهة بصيغة براهماغوبتا:

$$t = \frac{D}{\text{cotg } h + 1}$$

نجد إذن في تقويم قرطبة إحدى الشهادات العديدة على تأثير التقليد الفلكي الهندي ـ الإيراني في الأندلس، هذا التأثير الذي سنؤكد عليه فيما سيتبع. ومن جهة أخرى، فإن سلاسل القيم الرقمية الأربع المذكورة تستخدم وسائل بمستويات شديدة التفاوت بحيث تطرح علينا مسألة المصادر التي استقى منها مؤلفا هذا التقويم، ذلك لأن أياً من عريب بن سعيد أو ربيع بن زيد لم يكن فلكياً. وقد يكونان قد استخدما جداول ميقات لخط العرض 30° ; 37 الذي قد يكون خط عرض مدينة أخرى غير قرطبة وتقع على خط العرض نفسه(٤٣).

٢ ـ تطور علم عقاقير أصيل

قد يكون بالإمكان الكلام عن علم للعقاقير في الأندلس قبل خلافة عبد الرحمن الثالث. ولكن عهده عرف حدثاً هاماً. فلقد كان كتاب **المادة الطبية** لديوسقوريدس (Dioscoride) في متناول أطباء الأندلس، عبر ترجمته العربية التي قام بها في الشرق إسطفان بن باسيل. لكن، لم يكن بإمكان هؤلاء الأطباء التعرف إلى الأعشاب الطبية التي وردت أسماؤها في هذا الكتاب. وفي العام ٩٤٨م، تلقى الخليفة عبد الرحمن الثالث من امبراطور بيزنطية (قسطنطين السابع) مخطوطة رائعة من كتاب ديوسقوريدس، مزينة بالصور. لكن القراء لم يستطيعوا فهمها لأنها مكتوبة باليونانية، ولم يكن في قرطبة من يفقه اليونانية في ذلك الوقت. لذلك وبناء على طلب الخليفة، بعث الإمبراطور البيزنطي بالراهب نيكولا الذي ساعد فريقاً من أطباء الأندلس على إعادة النظر المنهجية بمصطلحات علم النبات المستخدمة في الترجمة العربية لكتاب ديوسقوريدس. وهكذا تم تعرف أطباء

---

(٤٣) انظر: Julio Samsó, «Sobre los materiales astronómicos en el *Calendario de Córdoba* y en su versión latina del siglo XIII,» in: Vernet, éd., *Nuevos Estudios sobre Astronomía Española en el siglo de Alfonso X*, pp. 125 - 138.

الأندلس إلى أغلب أسماء النباتات الطبية الواردة في هذا الكتاب(٤٤).

كان لهذا الحدث نتائج هامة منها الانطلاقة التي عرفها علما العقاقير والنبات الأندلسيان، هذه الانطلاقة التي بدأت بعيد مراجعة كتاب ديوسقوريدس التي كان أول مظاهرها إنجاز كتاب ابن جلجل في علم النبات الذي سبق أن ذكرناه مرات عديدة. فلقد تعرف ابن جلجل على مساعدي الراهب نيكولا وعجل بكتابة مؤلف حول الأعشاب الطبية التي تم تحديدها ومؤلفٍ آخر حول الأدوية التي لم يأت ديوسقوريدس على ذكرها(٤٥). إضافة إلى ذلك، يقال إن وجود الراهب المذكور في قرطبة، قد يكون في أساس تكوين مدرسة من رجال العلم الأندلسي، يعرفون اليونانية، ربما كان مسلمة المدريدي من بينهم. عند هذه المرحلة تكون، إذن، قد بدأت تظهر أولى بوادر النضج الطبي الأندلسي؛ ولا بد هنا من التنويه باسم عريب بن سعيد الذي كتب في حوالى العام ٩٦٤م رسالة في علم القبالة (فن التوليد) وفي طب الأطفال، تحتوي أيضاً على أوائل الكتابات الأندلسية في التنجيم الطبي، وهو ما يشكل دليلاً على انتشار مؤلفات أرسطو البيولوجية في الأندلس. لكن أعمال أبي القاسم الزهراوي (المولود ما بعد ٩٣٦ والمتوفى حوالى عام ١٠١٣م) في هذا المجال تعتبر أهم بكثير من أعمال ابن جلجل. ومن بين هذه الأعمال، كتاب التصريف الذي يحتوي على أهم رسالة في علم الجراحة عرفتها القرون الوسطى على امتدادها؛ كما يحوي رسالة في علم العقاقير يستخدم فيها تقنيات مخبرية متقدمة قد يكون أخذها عن العطارين المصريين أو عن العراقيين الذين حافظوا على وسائل، وتقنيات، تقاليد ما بين النهرين. ويحوز مؤلفه في علم العقاقير على أهمية نظرية لأنه، انطلاقاً من نظرية أبقراط المتعلقة بخلط النوعيات العلاجية الأربعة (البرودة ـ السخونة ـ الرطوبة ـ النشاف) ومن نظرية جالينوس عن درجات هذه النوعيات، طرح مسألة نسب، ومقادير، الأعشاب التي تدخل في تكوين علاج مركب. لذلك فهو قد يكون مطلعاً على كتاب الكندي(٤٦) ذي العنوان اللاتيني *De medecinarum compositarum gradibus*.

---

(٤٤) انظر: Juan Vernet, «Un tractat d'obstetriacia astrólogica,» in Vernet, *Estudios sobre Historia de la Ciencia Medieval,* pp. 273 - 300; Meyerhof, «Esquisse d'histoire de la pharmacologie et botanique chez les musulmans d'Espagne,» pp. 1 - 41, et César E. Dubler and E. Terès, *La «Materia Médica» de Dioscórides: Transmisión medieval y renacentista,* 5 vols. (Barcelona: [Tipografía Emporium], 1953 - 1957).

(٤٥) انظر: I. Garijo, «El tratado de Ibn Juljul sobre los medicamentos que no mencionó Dioscórides,» in: García Sánchez, éd., *Ciencias de la Naturaleza en al-Andalus: Textos y Estudios,* vol. 1, pp. 57 - 70.

(٤٦) انظر: Sami Khalaf Hamarneh and Glenn Sonnedecker, *A Pharmaceutical View of Abulcasis (al-Zahrāwī) in Moorish Spain, with a Special Reference to the «Adhan»,* Janus, =

٣ ـ مدرسة مسلمة المجريطي

يحتل مسلمة في تاريخ علم الفلك المكانة التي يحتلها أبو القاسم في تاريخ الطب. وقد ولد في مدريد ودرس في قرطبة حيث توفي سنة ١٠٠٧م. وكمنجم مشهور، عرف بأنه تنبأ بسقوط الخليفة كما تنبأ ببعض تفاصيل الحياة السياسية التي سبقت ما سمي «الفتنة». ولكن مكانته العلمية المميزة تعود بشكل خاص إلى تعديله لجداول الخوارزمي وتكييفها، بحيث أصبح يشار إليها غالباً بـ زيج الخوارزمي ـ مسلمة. ولقد سبق وتحدثنا عن إدخال السندهند وعلى الأرجح حسب صيغته الخوارزمية، إلى الأندلس خلال خلافة عبد الرحمن الثاني. إن هذا النص المعروف في إسبانيا من خلال صيغته المنقحة الأولى الخالية من البراهين كان موضوع تعديل وتكييف من قبل مسلمة وتلميذه ابن الصفار المتوفى عام ١٠٣٤م. وإننا نعرف هذا التكييف بفضل الترجمة اللاتينية التي قام بها أدلار دو باث (Adélard de Bath)[٤٧]، وليس التقويم الدقيق لإسهامات الفلكيين الأندلسيين في هذا الزيج، عملية سهلة. فنص الخوارزمي الأصلي يبدو أنه مفقود. لذلك لا نستطيع سوى محاولة إعادة تركيبه باستخدام المعطيات المحفوظة في شروحات ابن المثنى[٤٨]، وفي كتاب *Liber de rationibus tabularum* لأبراهام بن عزرا[٤٩]، أو في نصوص مشابهة مثل الكتاب في علل

= Suppléments; v. 5 (Leiden: E. J. Brill, 1963).

وفي ما يتعلق بنظرية الدرجات [نظرية درجات الكيفيات أو الأدوية] للكندي وتأثيرها في أوروبا القرون الوسطى، انظر مقدمة M. R. McVaugh في: Arnaud de Villeneuve, *Aphorismi de gradibus*, éd. M. R. McVaugh (Granada; Barcelona: [n. pb.], 1975).

(٤٧) انظر: Heinrich Suter, *Die Astronomischen Tafeln des Muhammed Ibn Mūsā al-Khwārizmī in der Bearbeitung des Maslama Ibn Ahmed al-Madjrīṭī und der latein,* Ubersetzung des Athelhard von Bath auf grun der vorarbeiten von A. Björnbo und R. Besthorn in Kopenhagen... hrsg und Kommentiert von H. Suter (Kobenhavn: A. F. Host and Son, 1914), and Otto Neugebauer, *The Astronomical Tables of al-Khwārizmī*, translated with commentary of the latin version (Copenhagen: [n. pb.], 1962).

(٤٨) انظر: Aḥmad Ibn al-Muthannā : *El commentario de Ibn al-Muṭannā' a las tablas astronómicas de al-Jwārizmī,* Estudio y edición crítica del texto latino, en la versión de Hugo Sanctallensis, por Eduardo Millás Vendrell (Madrid, Barcelona: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Asociación para la Historia de la Ciencia Española, 1963), and *Ibn al-Muthannā's Commentary on the Astronomical Tables of al-Khwārizmī*, two hebrew versions, edited and translated, with an astronomical commentary by Bernard R. Goldstein, Yale Studies in the History of Science and Medicine; 2 (New Haven, Conn.: Yale University Press, 1967).

(٤٩) انظر: Abraham ben Meïr Ibn Ezra, *El libro de los fundamentos de las Tablas astronómicas,* éd. crítica, con introducción y notas por José Mª. Millás Vallicrosa (Madrid: [n. pb.], 1947).

الزيجات للهاشمي[٥٠]. ولقد أثبتنا في كتاب **الزيج** هذا وجود مواد تعود إلى التقليد الهندي ـ الإيراني ومواد تعود إلى التقليد اليوناني ـ العربي وأخرى تعود إلى التقليد الإسباني. ونستطيع، كموقف مسبق، أن نعتبر أن المواد الهندية ـ الإيرانية تعود إلى الصيغة البدائية **للزيج**، أي إلى جداول الخوارزمي. لكن هذا الاستباق ليس صحيحاً دائماً، وخاصة فيما يتعلق بجداول الحركة المتوسطة؛ ذلك لأن الوسائط (الحسابية (المترجم)) الأساسية هي من أصل هندي، بينما نجد أن وضعية الجداول المنقولة تشكل تعديلاً شكلياً هاماً ينسب عادة إلى مسلمة. فالجداول البدائية تستخدم السنين الشمسية الفارسية والتاريخ الذي بدأت منه هو بداية عهد يزدجرد الثالث (١٦/٦/٦٣٢م). لكن الجداول المحفوظة تستخدم السنة القمرية الإسلامية وتبدأ من تاريخ بداية الهجرة (ظهر يوم ١٤/٧/٦٢٢م). ونشير إلى تدخل مسلمة في جداول الكسوفات[٥١]، وكذلك في جداول حساب خطوط عرض الكواكب على الرغم من أن نتائجه لم تكن براقة في الحالة الأخيرة هذه[٥٢]. ونجد أنفسنا في وضع مشابه فيما يتعلق بالجزء من **الزيج** المتأثر ببطلميوس. فلقد كان الخوارزمي، من جهة، معاصراً للخليفة المأمون، أي أنه عاش في عصر كان فيه كتاب **المجسطي** وكتاب **زيج بطلميوس** معروفين جيداً. ومن جهة أخرى، يتكون أحياناً لدينا انطباع، مدعم بشكل أو بآخر، بأن المادة الأصلية (أي جداول الخوارزمي) كانت عرضة للتعديل والتطويل من قبل مسلمة، أو من قبل أحد غيره.

ولقد تعرضت بعض جداول علم المثلثات لتعديلات مشابهة، ومنها جدول الجيب (sinus) الذي يوجد محسوباً على أساس أن نصف القطر يعادل ٦٠ جزءاً، وهذا الجدول هو حصيلة قسمة جدول الأوتار في **المجسطي** بالعدد اثنين. كل هذا يناقض شهادة ابن المثنى الذي يؤكد أن قيمة نصف القطر المستخدمة في جداول جيب الخوارزمي هي ١٥٠ جزءاً.

ونستطيع أيضاً أن نفترض مساهمة مسلمة في جميع مواد **الزيج** المتأثرة بالتقليد الاسباني، مثل التلميح إلى العصر الإسباني (عام ٣٨ ق.م.) وهو التاريخ الذي نجده في القسم من **الزيج**، المتعلق بالتسلسل التاريخي، ومثل استعمال خط الزوال العائد لقرطبة في بعض الجداول، كتلك العائدة لتحديد التقاء الشمس والقمر أو تقابلهما ـ والجداول الأخيرة هذه مشتقة من الجداول الأصلية وعدلها مسلمة. ومن بين الجداول المتأثرة بـ «التقليد الإسباني» التي ساهم فيها مسلمة نجد أيضاً جداول الحركة المتوسطة لعقدة القمر الصاعدة، هذه الجداول التي تحوي جدولاً إضافياً لخط زوال قرطبة للفترة الواقعة بين

---

(٥٠) انظر المراجع العائدة للهاشمي ضمن قائمة المراجع.

(٥١) انظر: David Pingree, «The Indian and Pseudo - Indian Passages in Greek and Latin Astronomical and Astrological Texts,» *Viator*, vol. 7 (1976), p. 165.

(٥٢) انظر: Edward Stewart Kennedy [et al.], *Studies in the Islamic Exact Sciences* (Beirut: American University of Beirut, °1983), pp. 125 - 135.

عامي ٩٧٠ و١١٧٤م(٥٣). ونجد كذلك مثلاً مشابهاً في جداول إسقاط الشعاعات (أنصاف القطر (المترجم)) (projectio radii stellarum) التي تحتل تقريباً خمس ما يحتله من الزيج مجموع الجداول الرقمية. وجداول الإسقاط هذه محسوبة بالنسبة إلى خط العرض 30° ; 38 (قرطبة)، ولا تطابق جداول الخوارزمي الأصلية التي حفظها المنجم الشرقي ابن هبنتا (بغداد، حوالى ٩٥٠م). ولقد برهن هوجنديجك (Hogendijk) في بحث حديث جداً أن مسلمة قد أدخل تحسينات على الوسائل الحسابية للخوارزمي، ذلك لأن جداول الفلكي القرطبي تعطي نتائج صحيحة ولأنها أكثر سهولة في الاستعمال من جداول الخوارزمي(٥٤).

لكن إعادة بعض التعديلات لمسلمة تشكل أحياناً معضلة، بحيث لا بد من أن نفترض تدخل أيادٍ أتت بعد مسلمة. هذه مثلاً هي حالة الجداول المتعلقة برؤية الهلال التي ترتكز على نظرية هندية في الرؤية والمحتسبة بالنسبة إلى خط عرض هو 35° ; 41 الواقع بعيداً إلى شمال قرطبة. وقد يكون خط العرض هذا عائداً لسرقسطة، لذلك فقد تكون هذه الجداول قد أدخلت في القرن الحادي عشر حيث عرفت العلوم الصحيحة نهضة كبيرة في هذه المدينة(٥٥).

ولم تقتصر أعمال مسلمة المتعلقة بالجداول الفلكية على زيج الخوارزمي. ففي كتاب **طبقات الأمم** يقول صاعد الطليطلي إنه «انكب على مراقبة الكواكب وثابر على فهم كتاب المجسطي لبطلميوس... وانه كان مؤلفاً لموجز عن زيج البتاني يعالج معادلة الكواكب..»(٥٦).

هنا نجد إذن، ثلاثة أقوال يجب معالجة كل منها على حدة:

أ ـ بخصوص رصده للنجوم، نستطيع أن نذكر بشهادة الزرقالي الذي يؤكد أن مسلمة رصد النجم «قلب الأسد» عام ٩٧٩م وأنه أثبت أن خط طوله هو 40° ; 135. وهذه القيمة تطابق قيمة خط طول هذا النجم الموجودة في الجدول الصغير لواحد وعشرين نجماً، وهو جدول يرافق تعليقاته على كتاب **تسطيح الكرة** *(Planisphère)* لبطلميوس(٥٧). ولقد

---

(٥٣) انظر: Neugebauer, *The Astronomical Tables of al-Khwārizmī*, pp. 61, 63, 95, 108 and 110.

(٥٤) انظر: Kennedy [et al.], Ibid., pp. 372 - 384.

(٥٥) انظر: المصدر نفسه، ص ١٥١ ـ ١٥٦، و King, *Islamic Mathematical Astronomy*.

(٥٦) انظر: Ṣā'id Ibn Aḥmad al-Andalusī, *Kitāb Ṭabakāt al-Umam (Livre des catégories des nations)*, traduction avec notes et indices précédée d'une introduction par Régis Blachère (Paris: Larose, 1935), pp. 129 - 130.

(٥٧) انظر: José María Millás Vallicrosa, *Estudios sobre Azarquiel* (Madrid: Consejo Superior de Investegaciones Científicas, Instituto «Miguel Asín», Escuelas de Estudios Arabes de Madrid y Granada, 1943 - 1950), pp. 310 - 311, and Paul Kunitzsch, «Two Star Tables from Medieval Spain,» *Journal for the History of Astronomy*, vol. 11 (1980), pp. 192 - 201.

استخدم مسلمة تحديد خط طول هذا النجم لكي يقوم بحركة اعتدالية قيمتها 10° ; 13 بالنسبة إلى لائحة النجوم الواردة في المجسطي. وهذا التعديل هو الذي مكنه من تحديد خطوط الطول لما تبقى من نجوم هذه اللائحة.

ب ـ إننا لا نعرف شيئاً عن أعمال مسلمة التي انطلقت من المجسطي (الذي يبدو أن تلميذه ابن السمح قد كتب نسخة ملخصة عنه). لكن من البديهي أن المجسطي كان معروفاً جيداً في مدرسة مسلمة، فمدرسته لم تهتم فقط بـ السندهند. ففي كتابه عن استخدام الأسطرلاب يذكر ابن الصفار كتاب الجغرافيا لبطلميوس. وفي المخطوطة اللاتينية ذات الرقم ٢٢٥ والعائدة الى ريبول (Ripoll) (والمرجح أنها من القرن الحادي عشر، كما من المرجح أنها متأثرة بمدرسة مسلمة)، نجد ترتيباً للمناخات الأرضية قد يكون اعتمد وسائل المجسطي أو طرق الجغرافيا[٥٨].

ج ـ إننا لا نعرف أيضاً ما استقاه مسلمة من زيج البتاني، مع أن طبعة نالّينو (Nallino) لهذا الزيج تحوي ستة جداول منسوبة إلى مسلمة، وهي على الأرجح مغلوطة. غير أنه من الواضح أن مدرسة مسلمة عرفت جيداً إنجاز البتاني. ذلك لأن ابن السمح في رسالته حول بناء الصفيحة الجامعة لتقويم الكواكب يستعمل وسائط البتاني في خطوط طول أوج الكواكب. أما قيم الانحرافات وقيم شعاعات أفلاك التدوير، فتشتق إما من البتاني أو من المجسطي[٥٩].

ومن ناحية أخرى، قام مسلمة بتنقيح كتاب تسطيح الكرة لبطلميوس. وأخذاً بعين الاعتبار العلاقات التي قد تكون حصلت بين مسلمة والراهب نيكولا، وبالتالي احتمال أن يكون هذا الفلكي قد درس اليونانية، يوجد إيحاء بأن مسلمة قد يكون قام بترجمة هذا الكتاب. لكنه قد يكون قام بتنقيح إحدى الترجمات العربية الشرقية لهذا الكتاب مضيفاً إليها بعض الشروحات والتعليقات. ولم تحفظ الأيام الأصل اليوناني لكتاب بطلميوس هذا، لذلك فإن مساهمة مسلمة في تعديله هي مسألة لا يمكن حلها قبل أن ندرس مجمل المواد التي بحوزتنا بهذا الخصوص وهي:

---

(٥٨) انظر: R. Marti et M. Viladrich, «Las tablas de climas en los tratados de astrolabio del manuscrito 225 del *scriptorium* de Ripoll,» *Llull*, vol. 4 (1981), pp. 117 - 122.

ولقد أطلعنا حديثاً على مخطوطة اسطنبول كَرَّالله (Carullah) (١٢٧٩) التي تحوي كتاب الهيئة لقاسم بن مُطرِّف (حوالى عام ٩٥٠)، حيث نجد لائحة بقيم المسافات بين الكواكب، تبدو مأخوذة من كتاب الفرضيات لبطلميوس.

(٥٩) انظر: Julio Samsó, «Notas sobre el ecuatorio de Ibn al-Samḥ,» in: Vernet, éd., *Nuevos Estudios sobre Astronomía Española en el siglo de Alfonso X*, pp. 105 - 118.

(١) صيغة مسلمة لكتاب **تسطيح الكرة** والموجودة في ترجمة لاتينية قام بها هرمان الدلماثي (Hermann le Dalmathe) (١١٤٣م)[٦٠] وفي ترجمة عبرية؛

(٢) ترجمة عربية سابقة لمسلمة؟ محفوظة في مخطوطة[٦١]؛

(٣) تعليقات مسلمة على كتاب **تسطيح الكرة**، المترجمة والمنشورة جزئياً[٦٢].

يحتوي النص الأخير هذا على سلسلة إضافات على كتاب بطلميوس هي:

ـ ثلاث وسائل جديدة لتقسيم دائرة كسوف الأسطرلاب (ونشير إلى أن بطلميوس يعطي فقط وسيلتين لهذا التقسيم).

ـ ثلاث طرق أيضاً لتقسيم الأفق مشابهة لتلك التي قدمها لتقسيم دائرة الكسوف. ويكون بهذا قد سد نقصاً موجوداً في كتاب بطلميوس.

ـ ثلاث طرق لتحديد موضع نجوم العنكبوت الثابتة على الأسطرلاب، مستخدماً فيها إحداثيات دائرة الكسوف، وإحداثيات أفقية واستوائية.

وفي قسم ثانٍ من هذا العمل، يستخدم مسلمة أداته الوحيدة في علم المثلثات في سبيل حل المثلثات الكروية القائمة الزاوية. وأداته هذه هي مبرهنة منلاوس التي سبق له أن كتب حولها عدة ملحوظات لا زالت محفوظة حتى الآن في ترجمة لاتينية[٦٣]. وفي هذا القسم يهتم مسلمة بتحديد الصعود المستقيم لابتداء كلٍ من الإشارات البرجية الفلكية، مستخدماً في ذلك طريقة مشابهة لتلك التي سبق وعرضها لتقسيم الأفق انطلاقاً من الصعودات المستقيمة. ويهتم أيضاً بتحديد الميل الزاوي لكوكب ما، وبدرجة بلوغ الأوج لكوكب في السماء (وهنا يستعمل بعض صيغ البتاني)؛ ثم يدرس درجة فلك البروج الذي يشرق أو يغيب مع كوكبٍ ما. وأخيراً يعطي جدول «انحناءات» النجوم الثابتة بالنسبة إلى

---

(٦٠) انظر: Joseph Drecker, «Das Planisphærium des Claudius Ptolemaeus,» *Isis*, vol. 9 (1927), pp. 225 - 278.

(٦١) انظر: «Ptolemy,» in: *Dictionary of Scientific Biography*, 18 vols. (New York: Scribner, 1970 - 1990), vol. 11, pp. 186 - 206.

(٦٢) انظر: Juan Vernet and M. A. Catala, «Las obras matemáticas de Maslama de Madrid,» in: Vernet, *Estudios sobre Historia de la Ciencia Medieval*, pp. 241 - 271.

(٦٣) انظر: Axel Anthon Björnbo and Heinrich Suter, *Thabits Werk über den Transversalensatz (Liber de figura sectore)* (Erlangen: M. Mencke, 1924), pp. 23 - 24, 39, 79 and 83.

خط العرض 30° ; 38 (قرطبة)، بينما نجده، في القسم الأول من هذا العمل، يعالج أحد الأمثلة حيث خط العرض هو 39°.

إن شروحات مسلمة هذه لكتاب تسطيح الكرة، لا تشكل بتاتاً رسالة حول صناعة الأسطرلاب، لكنها كانت من دون شك ذات تأثير في المؤلفات الأندلسية التي تعالج بناء هذه الآلة. ولقد كان لها تأثيرها، خاصة في رسالة ألفونس العاشر(٦٤) المتعلقة بهذا الموضوع، وكذلك في الرسالة المنسوبة خطأً إلى ما شاء الله(٦٥). إننا نحكم في هذا الأمر، انطلاقاً من العمل الهام لپول كونيتش (Paul Kunitzsch)(٦٦) حيث تم البرهان على أن ما سمي رسالة ما شاء الله حول بناء واستخدام الأسطرلاب هو في الواقع تجميع جرى في القرن الثالث عشر لعناصر غير متجانسة إطلاقاً توجد بينها مقاطع يمكن أن تكون لها علاقة بمدرسة مسلمة. وهذه المدرسة تتمثل فيما يتعلق بالأسطرلاب بشروحات مسلمة المذكورة هنا وبرسالة لابن الصفار حول استعمال الأسطرلاب(٦٧) ـ نالت رواجاً وشهرة بسبب اقتضابها وطابعها العملي ـ وبرسالة أخرى لابن السمح أكثر إطالة من السابقة(٦٨). وللنص الأخير هذا، من جهة أخرى، أهمية بالغة، وذلك لسببين: أول هذين السببين أنه يحتوي على استشهادات تعود إلى عمل غير معروف للفلكي الشرقي حبش الحاسب (حوالى

(٦٤) انظر: Merce Viladrich: «On the Sources of the Alphonsine Treatise Dealing with the Construction of the Plane Astrolabe,» *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 6 (1982), pp. 167 - 171, and Ramon Marti, «En torno a los tratados hispánicos sobre construcción de astrolabio hasta el siglo XIII,» in: Vernet, éd., *Textos y Estudios sobre Astronomía Española en el siglo XIII*, pp. 79 - 99.

(٦٥) انظر: Julio Samsó: «Maslama al-Majrīṭī and the Alphonsine Book on the Construction of the Astrolabe,» *Journal for the History of Arabic Science*, vol. 4, no. 1 (Fall 1980), pp. 3 - 8; «Notas sobre la trigonometría esférica de Ibn Mu'ād,» *Awrāq*, vol. 3 (1980), pp. 60 - 68; «Tres notas sobre astronomía hispánica en el siglo XIII,» pp. 167 - 179, and «Alfonso X y los orígenes de la astrología hispánica,» in: *Estudios sobre Historia de la Ciencia árabe*, editados por Juan Vernet (Barcelona: Instituto de Filología, Institución «Milá y Fontanals», Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1980), pp. 81 - 114.

(٦٦) انظر: Paul Kunitzsch, «On the Authenticity of the Treatise on the Composition and Use of the Astrolabe Ascribed to Messahalla,» *Archives internationales d'histoire des sciences*, vol. 31 (1981), pp. 42 - 62.

(٦٧) انظر: José Mª. Millás Vallicrosa, «Los primeros tratados de astrolabio en España,» *Revista del Instituto Egipcio de Estudios Islámicos*, vol. 3 (1955), pp. 55 - 76.

(٦٨) انظر: Merce Viladrich: *El Kitāb al-'amal bi-l-asṭurlāb (Llibre de l'ús de l'astrolabi) d'Ibn al-Samḥ*, Estudi i Traducción (Barcelona: [n. pb.], 1986), and «Dos capítulos de un libro perdido de Ibn al-Samḥ,» *Al-Qanṭara*, vol. 7 (1986), pp. 5 - 11.

٨٣٥ م) حول الأسطرلاب، مما يشكل أولى الشهادات حول اطلاع الأندلسيين على أعمال هذا الكاتب. أما السبب الثاني فهو أن مرسي ڤيلادريتش (Merce Viladrich) برهن أن كتاب ابن السمح هو المصدر الذي استخدمه معاونو ألفونس العاشر ليكتبوا رسالة حول استعمال الأسطرلاب الكروي؛ فلقد اعتمدوا رسالة في الأسطرلاب المستوي معدلين فيها ومكيفين تبعاً لمتطلبات الأسطرلاب الكروي، وذلك بسبب عدم توفر نص عربي بهذا الخصوص يمكن ترجمته(٦٩).

ولقد شهد القرن العاشر مستجدات أخرى في مجال صناعة الأجهزة الفلكية. إن أقدم المزاول (الساعات الشمسية) التي حفظتها الأيام تعود إلى ذلك العصر(٧٠)، وأحد هذه الأجهزة منسوب صراحة إلى ابن الصفار (وهو إما الفلكي المذكور سابقاً وإما أخوه محمد وهو صانع أسطرلابات كما يفيد صاعد الأندلسي). لكن العيوب الهامة التي تشوب هذه المزولة تجعل من الصعب تقبل فكرة كونها من صنع هذا الفلكي الكفء وتدعو إلى الظن بأنها مبنية «على طريقة ابن الصفار» بواسطة حرفي غير دقيق. ومن جهته، كان ابن السمح كاتب أول عمل معروف حول صناعة الصفائح الجامعة لتقويم الكواكب. والجهاز الذي رسمه هذا الفلكي يتألف من ثماني لوحات (لوحة للشمس وست لوحات للقمر وللكواكب الخمسة وواحدة لأفلاك التدوير الكوكبية) توضع في أم الأسطرلاب(٧١). وتحتوي لوحات الأفلاك الحاملة للكواكب، إضافة إلى الرسم البياني الهندسي، على جداول الحركات المتوسطة في خط الطول وفي خاصة الكوكب (الخاصة هي سير الكوكب في

---

(٦٩) انظر: Merce Viladrich, «Una nueva evidencia de materiales árabes en la astronomía alfonsí,» in: *De Astronomia Alphonsi Regis* (Barcelona: [n. pb.], 1987), pp. 105 - 116.

(٧٠) انظر: King, «Three Sundials from Islamic Andalusia,» pp. 358 - 392; C. Barceló et A. Labarta, «Ocho relojes de sol hispano - musulmanes,» *Al-Qanṭara*, vol. 9 (1988), pp. 231 - 247, et, and J. Carandell: «An Analemma for the Determination of the Azimuth of the *Qibla* in the *Risāla fī 'ilm al-ẓilāl* of Ibn al-Raqqām,» *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften*, Bd. 1 (1984), pp. 61 - 72, and «Trazado de las curvas de oración en los cuadrantes horizontales en la *Risāla fī 'ilm al-ẓilāl* de Ibn al-Raqqām,» *Dynamis*, vol. 4 (1984), pp. 23-32.

(٧١) انظر: M. Comes, *Ecuatorios - and andalusíes, Ibn al-Samḥ, al-Zarqālluh y Abū-l-Ṣalt* (Barcelona: [n. pb.], 1991), pp. 27 - 68; Emmanuel Poulle, *Les Instruments de la théorie des planètes selon Ptolémée: Equatoires et horlogerie planétaire du XIII*e *au XVI*e *siècle*, hautes études médiévales et modernes; 42, 2 vols. (Paris: Dröz - Champion, 1980), vol. 1, pp. 193 - 200, et Samsó, «Notas sobre el ecuatorio de Ibn al-Samḥ,» , pp. 105 - 118.

حيث توجد بعض الهفوات التي أشار إليها ج. ل. مانشا (J. L. Mancha) في: *De Astronomia Alphonsi Regis*, pp. 105 - 117.

فلك التدوير (المترجم))؛ وهذا ما يذكرنا بـ **زيج الصفائح** لأبي جعفر الخازن (توفي بين ٩٦١ و٩٧١)[٧٢]. والزيج الأخير هذا، يمكن أن يوجد على صفائح الأسطرلاب - الصفيحة الجامعة. لذلك فقد يكون أصل هذا النوع من الأجهزة شرقياً. ويبقى السؤال في هذا الصدد مطروحاً بانتظار اكتشاف عناصر جديدة.

ثالثاً: ذروة انطلاق العلم الأندلسي (القرن الحادي عشر للميلاد)[٧٣]

وصل العلم الأندلسي في القرن العاشر إلى مستواه الإنتاجي ونال بعض رجال العلم الأندلسيين شهرة حتى في الشرق. ومن هؤلاء، أبو القاسم الزهراوي ومسلمة المجريطي الذي ذكر ابن الشاطر في مقدمة كتابه **نهاية السول**، أنه من بين نقاد بطلميوس[٧٤]. ولكن انعكاسات النجاحات العلمية في الأندلس ازدادت كثيراً بدءاً بالقرن الحادي عشر للميلاد. فالمؤلف الذي كتبه العالم الزراعي الأندلسي ابن بصال صار معروفاً جداً في اليمن حيث استعمل العاهل رسول الملك الأفضل في القرن الرابع عشر، النسخة الكاملة من كتاب **القصد والبيان**، بدل الصيغة الموجزة التي وصلت إلينا[٧٥]. ونستطيع ذكر الكثير من أمثلة من هذا النوع. لكننا سنقتصر على تلك التي تظهر تأثير الأسطرلابات الشاملة، التي طورها في القرن الحادي عشر، الفلكيان علي بن خلف والزرقالي. و«صفيحة» هذا الأخير، بصيغتيها («الزرقالية» - وهي الجهاز الأكثر تطوراً، و«الشكازية» - وهي الصيغة المبسطة)، كانت معروفة جيداً في الشرق الأدنى، حيث ظهرت صيغ متطورة للصيغة

---

(٧٢) انظر: David A. King, «New Light on the *Zij al-Ṣafā'iḥ* of Abū Ja'afar al-Khāzin,» *Centaurus*, vol. 23 (1980), pp. 105 - 117.

(٧٣) هذا القسم من عرضنا هو ملخص منقح عن مقال: Juan Vernet and Julio Samsó, «Panorama de la ciencia andalusí en el siglo XI,» paper presented at: *Actas de las Jornadas de Cultura Arabe e Islámica (1978)* (Madrid: [n. pb.], 1981), pp. 135 - 163.

وانظر العمل الأكثر حداثة لـ: Lutz Richter - Bernburg, «Ṣā'id, the Toledan Tables and Andalusī Science,» in: David A. King and George Saliba, eds., *From Deferent to Equant: A Volume of Studies in the History of Science in the Ancient and Medieval Near East in Honor of E. S. Kennedy*, Annals of the New York Academy of Sciences; v. 500 (New York: New York Academy of Sciences, 1987), pp. 373 - 401.

(٧٤) انظر: Kennedy [et al.], *Studies in the Islamic Exact Sciences*, p. 62.

(٧٥) انظر: Robert Bertram Serjeant, «Agriculture and Horticulture: Some Cultural Interchanges of the Medieval Arabs and Europe,» in: *Oriente e Occidente nel Medioevo: Filosofia e Scienze* (Roma: Accademia dei Lincei, 1971), pp. 535 - 541.

المبسطة المذكورة، حوالى نهاية القرن الرابع عشر وبداية القرن الخامس عشر. وقد اتخذت هذه الصيغ شكل ربعيات من النوع «الشكّازي» الذي استعمل من قبل فلكيي مرصد اسطنبول في القرن السادس عشر(٧٦).

وقد تطور المستوى الثقافي في الأندلس بشكل هائل بعد الأزمة السياسية لسنة ١٠٣١م والتي لم تتسبب في أزمة ثقافية. فلقد انبثقت ثلاثة مراكز ثقافية جديدة في سرقسطة وطليطلة وإشبيلية. ومن ثم تنامت عملية تشريق الثقافة في الأندلس. ومثلاً على ذلك، وجد إلى جانب **تقويم قرطبة**، كتاب لعبد الله بن حسين بن عاصم الذي سمي الغربال (ت ١٠١٢م)(٧٧)، هو **كتاب الأنواء والأزمنة ومعرفة أعيان الكواكب** وهو كتاب يختلف تماماً عن **تقويم قرطبة**. فلقد سبق وذكرنا أن المؤلف الأخير هذا هو مزيج من عناصر ثقافية ثلاثة: عربية ومستعربة وهلينستية؛ لكن العنصر العربي في كتاب ابن عاصم يسيطر بشكل واضح، وقراءته تذكر بـ **كتاب الأنواء** لابن قتيبة أكثر من أي نص آخر في الموضوع نفسه.

ولقد شكل ذلك القرن مرحلة غدت فيها الثقافة المستعربة من مخلفات الماضي (مراجعة كتاب *Libro de las Cruzes* واستخدام العالم الزراعي ابن حجاج مصادر لاتينية في دراسته) كما أصبح طلاب الأندلس يرون أن بإمكانهم تحصيل ثقافة علمية مناسبة دون الحاجة

---

(٧٦) انظر: Julio Samsó et M. A. Catala, «Un instrumento astronómico de raigambre zarqālī: El cuadrante shakkāzī de Ibn Ṭībugā,» *Memorias de la Real Academia de Buenas Letras de Barcelona,* vol. 13 (1971 - 1975), pp. 5 - 31, and David A. King: «An Analog Computer for Solving Problems of Spherical Astronomy: The *Shakkāzīya* Quadrant of Jamāl al-Dīn al-Maridī-nī,» *Archives internationales d'histoire des sciences,* vol. 24 (1974), pp. 219 - 242; *«A Survey of Medieval Islamic Shadow Schemes for Simple Timereckoning,» Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften,* Bd. 4 (1987); *Islamic Mathematical Astronomy;* «Universal Solutions in Islamic Astronomy,» in: J. L. Berggren and Bernard Raphael Goldstein, eds., *From Ancient Omens to Statistical Mechanics: Essays on the Exact Sciences Presented to Asger Aaboe* (Copenhagen: [n. pb.], 1987), pp. 121 - 132; and «Universal Solutions to Problems of Spherical Astronomy from Mamluk Egypt and Syria,» in: Farhad Kazemi and R. D. McChesney, eds., *A Way Prepared: Essays on Islamic Culture in Honor of Richard Bayly Winder* (New York: New York University Press, °1988), pp. 153 - 184.

وحول صفيحتي الزرقالي، انظر: Roser Puig: «Concerning the *ṣafīḥa shakkāziyya,» Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften,* Bd. 2 (1985), pp. 123 - 139; *Los tratados de construcción y uso de la azafea de Azarquiel,* Cuadernos de Ciencias; 1 (Madrid: Instituto Hispano - Arabe de Cultura, 1987), and Al-Zarqālluh, *Al-Shakkāziyya - Ibn al-Naqqāsh - Al-Zarqālluh,* Edición, traducción y estudio por Roser Puig (Barcelona: [n. pb.], 1986).

(٧٧) نُشرت المخطوطة الوحيدة عام ١٩٨٥ من قبل: Institut für Geschichte der Arabisch - Islamishen Wissenschaften de l'Université J. W. Goethe - Frankfurt.

وقد يكون المؤلف الحقيقي لـ **كتاب الأنواء** يدعى محمد بن أحمد بن سليمان الطجيبي وقد يكون ابن عاصم قد كتب ملخصاً لهذا الكتاب.

للسفر إلى الشرق. ولقد شهد على تطور المدارس المحلية في ذلك العصر، صاعد الطليطلي في كتاب **طبقات الأمم** حيث يقدم من المعطيات ما يكفي لبناء «شجرة النسب» لمدرستي مسلمة وأبي القاسم الزهراوي اللتين سيكون لهما بالغ الأهمية في تطور علوم الفلك والطب والزراعة في أندلس القرن الحادي عشر.

ومن جهة أخرى، يظهر الاستقلال عن الشرق بكل وضوح من خلال إحصاءات الأسفار التي قام بها مسلمو وادي الإبرة[٧٨]؛ ففي القرن العاشر كانت نسبة المسافرين المسلمين من هذه المنطقة إلى الشرق حوالى ٢٥ بالمئة، بينما لم تبلغ هذه النسبة سوى ١١ بالمئة في القرن الحادي عشر. لكن الأسفار إلى الشرق استمرت. وفي هذا المجال يورد صاعد الطليطلي بعض المعطيات ذات الدلالة، ومنها مثلاً سفر مولاه عبد الرحمن بن عيسى محمد (المتوفى عام ١٠٨٠م) والذي عاش في القاهرة حيث التقى ابن الهيثم.

إن إحدى الميزات الرئيسة للقرن الحادي عشر الأندلسي هي تلك التي أبرزتها الدراسات الحديثة العهد، التي تتمثل في تطور علم الرياضيات. ويعود الفضل في تطور هذا العلم إلى وجوه ثلاثة: الملك يوسف المؤتمن (١٠٨١ ـ ١٠٨٥م) من «الطائفة» في سرقسطة والرياضي ابن سيد أستاذ الفيلسوف الكبير ابن باجه، الذي كتب أعماله في بلنسية بين عامي ١٠٨٧ و١٠٩٦م، وأخيراً الفقيه الفلكي ابن معاذ (المتوفى عام ١٠٩٣م).

لم يكن معروفاً من عمل الرياضي الأول، المؤتمن، حتى عهد قريب، سوى عنوانه، **الاستكمال** وبعض الأسانيد غير المباشرة التي تدل على محتواه[٧٩]. لكن هذا الوضع تغير مع اكتشاف أربعة مقاطع من هذا الكتاب. إن هذه المقاطع تظهر[٨٠] أن كتاب **الاستكمال** ملخص ذكي لمصادر أخرى إضافة إلى بعض المساهمات الأصيلة. ومن بين هذه المصادر يجب أن نذكر:

---

(٧٨) انظر أعمال: Juan Vernet and M. Grau, in: *Boletín de la Real Academia de Buenas Letras de Barcelona*, vol. 23 (1950), p. 261 and vol. 27 (1957 - 1958), pp. 257 - 258.

(٧٩) انظر: J. Djebbar, «Deux mathématiciens peu connus de l'Espagne du XIe siècle: Al-Mu'taman et Ibn Sayyid,» (Paris, Université Paris - Sud, département de mathématique, 1984), (polycopié).

(٨٠) انظر: J. P. Hogendijk: «Discovery of an 11th - Century Geometrical Compilation: The *Istikmāl* of Yūsuf al-Mu'taman Ibn Hūd, King of Saragossa,» *Historia Mathematica*, vol. 13 (1986), pp. 43 - 52; «Le roi-géomètre al-Mu'taman Ibn Hūd et son livre de la perfection *(Kitāb al-Istikmāl)*,» papier présenté à: *Premier colloque international sur l'histoire des mathématiques arabes* (Alger: [s. n.], 1988), pp. 53 - 66, et «The Geometrical Parts of the *Istikmāl* of Yūsuf al-Mu'taman Ibn Hūd (11th Century): An Analytical Table of Contents,» (University of Utrecht, Department of Mathematics, Reprint no. 626, November 1990), reprinted in: *Archives internationales d'histoire des sciences*, vol. 41 (1991).

ـ كتاب **الأصول** وكتاب **المعطيات** لإقليدس؛

ـ كتاب أرخميدس حول **الكرة والأسطوانة**؛

ـ كتاب **المخروطات** لأبولونيوس؛

ـ كتاب **الكرويات** لمنلاوس وكتاب **الكرويات** لثيودوس؛

ـ رسالة ثابت بن قرة حول «الأعداد المتحابة»؛

ـ تعليقات أوطوقيوس على الكتاب الثاني لأرخميدس حول **الكرة والأسطوانة**؛

ـ كتاب **المجسطي** لبطلميوس؛

ـ كتاب **المناظر** لابن الهيثم؛

ـ رسالة الإخوة «بني موسى» حول قياس الأشكال المسطحة والكروية.

لذلك، فإن مجموعة المعلومات والمواضيع التي يحويها الكتاب، تدل على المعارف المعمقة في الرياضيات العالية التي ملكها مؤلفه. ولقد قام ابن الميمون وتلاميذه في القاهرة بتدريس هذا الكتاب الذي كان معروفاً في بغداد حيث نشر، فيها، في القرن الرابع عشر.

أما أعمال الرياضي الثاني، ابن سيد، فلا نعرفها إلا عبر استشهادات غير مباشرة ـ وخاصة عبر استشهادات تلميذه ابن باجه ـ جمعها ع. الجبار. ولقد كتب ابن سيد رسالة في الأعداد التي تكتب على شكل متواليات حسابية. وهذا الأمر ـ إضافة إلى محتويات بعض أجزاء **الاستكمال** للمؤتمن ـ يؤكد أن الأندلس قد عرفت قبل القرن الحادي عشر، تقليداً في البحث الحسابي كان منطلقه كتاب **الحساب** لنيقوماخوس الجرشي (Nicomaque de Gérase) الذي ترجمه ثابت بن قرة. لكن العمل الأهم لابن سيد الذي نعرف عنه بعض الشيء، هو في الهندسة. وفي هذا الكتاب يتبع تقليد كتاب **المخروطات** لأبولونيوس ومن ثم يدرس وجود وصفات المنحنيات المستوية ذات الدرجة الأعلى من اثنتين، التي لا تنتمي للقطوع المخروطية. كما يهتم أيضاً، في هذا المؤلف، بمسألة تثليث الزاوية (تقسيمها إلى ثلاثة أقسام متساوية) وبمسألة إيجاد متوسطين متناسبين بين عددين معينين.

لكن، من بين الرياضيين الثلاثة الذين سبق ذكرهم، فإن ثالثهم، ابن معاذ الجياني، هو الذي نملك حوله الأكثر من المعلومات. فلقد نشر بلويج (Plooij) في العام ١٩٥٠، عمل الجياني ذا العنوان **مقالة في شرح النسبة**(٨١). وترتدي هذه المقالة أهمية كبرى لأنها

(٨١) انظر: Edward Bernard Plooij, *Euclid's Conception of Ratio and His Definition of Proportional Magnitudes as Criticized by Arabian Commentators (Including the Text in Facsimile with Translation of the Commentary on Ratio of Abū 'Abd Allāh Muhammad Ibn Mu'ādh al-Djajjānī)* (Rotterdam: W. J. van Hengel, [1950]).

تشكل حلقة هامة في سلسلة الشروحات العربية لمفهوم الـ «ratio» الذي عرضه إقليدس في الكتاب الخامس من **الأصول**. وحسب مردوخ (Murdoch)[(٨٢)]، يعتبر هذا العمل شرحاً في غاية الحذاقة، يحتوي (خارج الرياضيات اليونانية) أول حالة معروفة، تدل على فهم تحديد مساواة النسب التي صاغها أودوكس (Eudoxe). ومن ناحية أخرى، وفي عمل أكثر حداثة، ترجم ونشر م. ف. فيلويندس (M. V. Villuendas) كتاب الجياني ذا العنوان **كتاب مجهولات قسي الكرة**[(٨٣)] الذي يعتبر دون شك الكتاب الأقدم الذي عرفته القرون الوسطى الغربية في موضوع علم المثلثات الكروي، الذي أصبح معه هذا العلم مستقلاً عن علم الفلك (لم يتضمن هذا الكتاب إشارة إلى علم الفلك إلا في مقدمته). ونستطيع أن نقدم أمثلة عن أعمال في الشرق، معادلة لهذا العمل. من هذه الأعمال كتاب **مقاليد علم الهيئة** للبيروني[(٨٤)] (لكننا نجد في هذا الكتاب اهتماماً بالغاً بالتطبيقات الفلكية)؛ ومنها كتاب **تشريح الكرة** لمحمد بن الحسن الجيوبي (من القرن الحادي عشر على وجه الاحتمال)[(٨٥)]؛ ومنها كذلك كتاب **جامع قوانين علم الهيئة** (كاتبه مجهول وتاريخه غير محدد لكنه سابق لعام ١٢٣٤م)[(٨٦)]، وجميع هذه الأعمال كانت سابقة لـ **كتاب شكل القطاع** لنصير الدين الطوسي.

إن الكتاب المذكور لابن معاذ يعالج حل المثلثات الكروية. وانطلاقاً من صيغة منلاوس، يقدم سبع مبرهنات، جديدة بالنسبة إلى إسبانيا المسلمة، لكنها معروفة، جميعها، في الشرق. وأغلب هذه المبرهنات قد تكون اكتشفت في خضم «ثورة علم المثلثات» التي جرت في نهاية القرن العاشر وبداية القرن الحادي عشر. وهذه المبرهنات هي: مبرهنة الجيب (sinus) وقاعدة الكميات الأربع ومبرهنة جابر (Geber) ومبرهنة جيوب التمام (cosinus) ومبرهنة الماسة (tangentes) والمبرهنات التالية (في مثلث ABG، قائم الزاوية G):

$$\frac{\sin a}{\sin b} = \frac{\cos G}{\cos g}$$

---

(٨٢) انظر: «Euclid,» in: *Dictionary of Scientific Biography,* vol. 4, pp. 414 - 459.

(٨٣) انظر: M. V. Villuendas, *La Trigonometria europea en el siglo XI: Estudio de la obra de Ibn Mu'ādh: El Kitāb maŷhūlāt* (Barcelona: [n. pb.], 1979).

(٨٤) Abu al-Rayhan Muhammad Ibn Ahmad al-Bīrūnī, *Kitāb māqālīd 'ilm al-hay'a: La Trigonométrie sphérique chez les arabes de l'est à la fin du Xe siècle,* édition, traduction et commentaire par Marie - Thérèse Debarnot (Damas: Institut français de Damas, 1985).

(٨٥) انظر: Marie - Thérèse Debarnot, «Introduction du triangle polaire par Abū Naṣr b. 'Irāq,» *Journal for the History of Arabic Science,* vol. 2, no. 1 (May 1978), pp. 126 - 136.

(٨٦) انظر: A. P. Youschkevitch, *Les Mathématiques arabes (VIIIe-XVe siècles)* (Paris: Vrin, 1976), p. 175, note (81),

والمراجع المذكورة.

$$tg\ b \cos G = tg\ a \sin B$$

$$tg\ b \cos A = tg\ g \sin B$$

هذه المجموعة تفتح الأبواب أمام علم مثلثات جديد تختلف تماماً عن ذلك الذي نجده في الحسابات الفلكية التي عرضها ابن معاذ نفسه، في جداوله المعروفة بـ «زيج الجياني» (Tabulae Jahen). إن بعض المعطيات الموجودة في نص كتاب **المجهولات** تدعونا للتفكير بإمكانية تأثير مباشر لرياضيين شرقيين مثل أبي نصر وأبي الوفاء وغيرهم(٨٧). ولكننا نجد أيضاً نتائج جديدة كحل المثلث باستخدام مثلث قطبي، وذلك بطريقة مستقلة عن تلك التي استخدمها أبو نصر(٨٨). ولقد أثيرت حديثاً مسألة تأثير ممكن لعمل ابن معاذ المذكور في كتاب *De triangulis* الذي ألفه ريجيومونتانوس (Régiomontanus)(٨٩)، على الرغم من أن طرق الانتقال غير واضحة. وكتاب **المجهولات** يحوي أيضاً جدولاً للظلال حيث الشعاع مساوٍ للواحد (r = 1)، تم الحصول عليه، حسب المؤلف، بقسمة الجيب وجيب التمام لكل زاوية. وهذا الجدول قد احتسب من درجة إلى درجة ونحصل بسهولة على القيم المقابلة لكل درجة بواسطة جداول الجيب في **زيج الخوارزمي** - مسلمة. غير أن ابن معاذ يعطينا في آخر هذا الجدول قيم ظلال الزوايا 89;15°, 89;30°, 89;45°, 89;59° التي حصل عليها بطريقة الاستكمال التربيعي (Interpolation quadratique) وهي المرة الأولى التي تستخدم فيها هذه الطريقة في الأندلس. وقد استخدم ابن معاذ هذا النوع من الاستكمال في احتساب الجيب لزاويتين، وذلك في كتابه **كتاب الغسق**(٩٠) (*Liber de crepusculis*).

ولقد ترافقت النهضة الرياضية أيضاً مع نشاط كبير في البحث الفلكي. ولا بد من الإشارة، في هذا المجال، إلى محافظة كتاب **السندهند** على مكانته المهيمنة. وفي ما يتعلق بالنهضة الفلكية، يؤكد صاعد الطليطلي على إنجازات مدرسة مسلمة كما على الأعمال التي

(٨٧) انظر: Samso, «Notas sobre la trigonometría esférica de Ibn *Mu'ād*,» pp. 60 - 68.

(٨٨) انظر: Debarnot, «Introduction du triangle polaire par Abū Naṣr b. 'Irāq,», p. 132, note (30).

(٨٩) انظر: Hairetdinova, «On Spherical Trigonometry in the Medieval Near East and in Europe,» *Historia mathematica*, vol. 13 (1986), pp. 136 - 146.

(٩٠) انظر: Doncel, *Liber de crepusculis*,

حيث يحسب ابن معاذ ارتفاع الجو باستخدام طريقة استخدمها في ما بعد مؤيد الدين العرضي وقطب الدين الشيرازي. انظر: Bernard Raphael Goldstein, «Ibn Mu'ādh's Treatise on Twilight and the Height of the Atmosphere,» *Archive for History of Exact Sciences*, vol. 17 (1977), pp. 97 - 118, and George Saliba, «The Height of the Atmosphere According to Mu'ayyid al-Dīn al-'Urḍī, Qutb al-Dīn al-Shīrāsī and Ibn Mu'ādh,» in: King and Saliba, eds., *From Deferent to Equant: A Volume of Studies in the History of Science in the Ancient and Medieval Near East in Honor of E. S. Kennedy*, pp. 445 - 465.

قام بها آخرون، هو نفسه من بينهم. إن عدداً قليلاً من هذه الأعمال قد حفظ ودرس؛ ومنها الترجمة اللاتينية للقوانين التي كتبها ابن معاذ من أجل جداوله المعروفة بـ **زيج الجياني** (Tabulae Jahen)، المرتكزة على نظام **السندهند** والمحسوبة نسبة لإحداثيات مدينة جيان (Jaén) مسقط رأس هذا الفلكي[٩١]، والتي تحوي أيضاً معطياتٍ أصيلة. ونشير إلى أن ابن معاذ، على خطى الخوارزمي، يضع الأوج الشمسي على 55° ; 77 من النقطة الربيعية، وأن هذا الوسيط سوف يستعمله الزرقالي في رسالته حول الصفيحة الجامعة[٩٢].

إن جداول طليطلة التي ابتدأ العمل فيها تحت إشراف القاضي صاعد، تبدو نتيجة عمل جماعي شارك فيه أبو اسحق بن الزرقالي (الذي سماه صاعد أيضاً «الزرقيال») وهو أهم عالم فلكي أندلسي عبر كل العصور. لكن دراسة هذه الجداول أصابت الباحثين بخيبة أمل. فقد أظهر تومر (Toomer)[٩٣] في تحليل له، أن الأصيل في هذه الجداول هو فقط تلك المتعلقة بالحركة المتوسطة، بينما يشتق الباقي إما من زيج الخوارزمي - مسلمة وإما من **زيج البتاني**. لكن بعضاً من الجداول المنسوبة إلى هذا الأخير قد تكون مشتقة مباشرة من بطلميوس الذي يمكن رؤية تأثيره في جداول رجوع الكواكب وفي جداول إحداثيات النجوم. وأخيراً، فإن الجداول المتعلقة باحتساب اهتزاز كرة النجوم الثابتة «الإقبال والإدبار» توجد أيضاً في كتاب *Liber de motue octave spere* المنسوب حتى عهد قريب إلى ثابت بن قرة. لكن هذه الجداول لا توجد إلا في بعض النسخ من كتاب *Liber de motu* المذكور، لذلك فقد تكون مستقلة عن هذا الكتاب، وعائدة بالتالي إلى فلكيي طليطلة.

إن هذه المعطيات السلبية تدعونا لطرح بعض الاعتبارات. فالمعروف أن الزرقالي كرس خمساً وعشرين من سني عمره في رصد الشمس، الذي بدأه أولاً في طليطلة ومن ثم في قرطبة[٩٤]. وكانت نتائج هذا العمل موجودة ضمن كتاب مفقود حول النظرية الشمسية استطاع تومر (Toomer) أن يعيد بناء بعض معطياته، في عمل دؤوب انطلاقاً من مصادر غير مباشرة[٩٥]. ويبرهن تومر خاصة، أن الزرقالي حدد في العام ١٠٧٤م وضعية الأوج

(٩١) انظر: H. Hermelink, «Tabulæ Jahen,» *Archive for History of Exact Sciences*, vol. 2 (1964), pp. 108 - 112.

(٩٢) انظر: Comes, *Ecuatorios andalusíes, Ibn al-Samḥ, al-Zarqālluh y Abū-l-Ṣalt*, p. 92.

(٩٣) انظر: G. J. Toomer, «A Survey of the Toledan Tables,» *Osiris*, vol. 15 (1968), pp. 5 - 174.

(٩٤) انظر: Millás Vallicrosa, *Estudios sobre Azarquiel*, p. 241.

(٩٥) انظر: G. J. Toomer: «The Solar Theory of az-Zarqāl: A History of Errors,» *Centaurus*, vol. 14, no. 1 (1969), pp. 306 - 336, and «The Solar Theory of Az-Zarqāl: An =

الشمسي (49° ; 85) وأنه قدر حركتها الخاصة بدرجة واحدة خلال ٢٧٩ عاماً شمسياً. ومن جهة أخرى، فقد رسم هذا الفلكي أنموذجاً شمسياً ذا مراكز منحرفة متحركة (شبيهة بالفلك الحامل لعطارد في الأنموذج البطلمي) وهذا الأنموذج يحدث إقبالاً وإدباراً في وضعية الأوج كما يحدث تغييراً في الانحراف المركزي للشمس. إن الأنموذج الشمسي نفسه استعمل أيضاً فيما بعد من قبل الفلكي كوبرنيكوس الذي أهمل أيضاً (كما فعل الزرقالي) إقبال وإدبار الأوج. وهذا يدل على أن تبني هذا الأنموذج يعود بالدرجة الأولى إلى كونه يوافق تغير قيم الانحراف الشمسي عن المركز التي وضعها الفلكيون منذ أيام هيباركوس. هذا وقد قام الزرقالي بالعمل البديهي المتمثل بقياس قيمة الانحراف الشمسي عن المركز في عصره (58 ; 1 جزءاً تقريباً).

من كل ما تقدم نستنتج أنه من الصعب التسليم بكون الزرقالي قد قام فقط بنقل جدول معادلة الشمس الموجود في **زيج البتاني** إلى **جداول طليطلة**، في حين أن جداول الشمس في **قانونه**[٩٦] تعطي انحرافاً مخالفاً لانحراف البتاني وتقارب قيمة الوسيط المذكور (58 ; 1 جزءاً). إن كل هذا يتوافق مع فرضية ل. ريختر - بيرنبورغ (L. Richter-Bernburg) التي تقول بأن العمل في **جداول طليطلة** بدأ في نهاية حياة القاضي صاعد (١٠٢٩ - ١٠٧٠م)، وفي كل حال، لم يبدأ إلا بعد أن أنهى هذا المؤلف كتابه **طبقات الأمم** (١٠٦٨م)، حيث لم يأت بتاتاً على ذكر الجداول[٩٧]. وقد يكون الزرقالي أدخل عناصر تعتمد على أرصاده الخاصة أو على أرصاد فريق صاعد، إلى **جداول طليطلة**، لكن أغلبية أعماله حول النظرية الشمسية يحتمل أن يكون قد قام بها بعد أن تم تجميع **الجداول**. ومن الممكن أيضاً أن يكون الزرقالي قد قام بأعمال في علم الفلك الكوكبي، ذلك لأن رسالته حول بناء الصفيحة الجامعة (التي حفظت بفضل ترجمة قشتالية ألفونسية) تعطينا أيضاً وسائط حسابية كوكبية لا تتطابق دائماً مع وسائط **جداول طليطلة**[٩٨]؛ فلئن كانت انحرافات المشتري والمريخ والقمر بطلمية، فإن انحرافات كل من زحل (23 ,51 ; 2 جزءاً أو 48 ,48 ; 2 جزءاً)، والزهرة (27 , 03 ; 1 جزءاً) وعطارد (26 ,51 ; 2 جزءاً) تبدو أصيلة[٩٩]. لكن شهرة الزرقالي تعود

Epilogue,» in: King and Saliba, eds., ***From Deferent to Equant: A Volume of Studies in the History of Science in the Ancient and Medieval Near East in Honor of E. S. Kennedy***, pp. 513 - 519, and Julio Samsó, «Azarquiel e Ibn al-Bannā,» in: ***Relaciones de la Península Ibérica con el Magreb (siglos XIII - XVI)*** (Madrid: [n. pb.], 1988), pp. 361 - 372. =

(٩٦) كتاب **القانون** للزرقالي. (المترجم).

(٩٧) انظر: Richter - Bernburg, «Ṣā'id, the Toledan Tables and Andalusī Science,» pp. 373 - 401.

(٩٨) أو «زيج طليطلة». (المترجم).

(٩٩) انظر: Willy Hartner, «Ptolemy, Azarquiel, Ibn al-Shāṭir and Copernicus on Mercury: A Study of Parameters,» *Archives internationales d'histoire des sciences*, vol. 24 (1974), pp. 5 - 25. =

إلى أعماله حول الشمس، التي يستحسن أن ننهي الحديث عنها بالإشارة إلى أن جداول برشلونة التي جمعت في عام ١٣٦٠م في عهد بطرس الرابع الأراغوني (Pierre IV d'Aragon)، تحوي جدولاً لمعادلة الشمس يبدو أنه مشتق من معادلة الزرقالي، وقد تكون احتسبت باستخدام الطريقة القديمة جداً المتعارف عليها بطريقة «الحل بالميول الزاوية»(١٠٠).

ولا بد أيضاً من أن نسجل أهمية رسالته حول حركة النجوم الثابتة المحفوظة في نسخة عبرية ترجمها ميلاس (Millás) إلى الاسبانية، ودرسها غولدشتاين (Goldstein)(١٠١). في هذا العمل، يقدم لنا الزرقالي، بعد إجرائه تجارب عدة، أنموذجاً لاضطراب متفرع من كتاب *Liber de motu* ـ ولكن بوسيطات جديدة ـ بحيث يضيف إليه، وبشكل مصطنع، أنموذجاً ثانياً مستقلاً عن الأول، وذلك لكي يحسب ميل دائرة الكسوف بحيث يجعلها تتأرجح بين 53° ; 23 (في بدء التأريخ المسيحي تقريباً) و33° ; 23 للسنة ٩٥٤ ـ ٩٥٥م). إن دراسة هذه القيم للميل والموجودة ضمناً في جداول الكتاب *Liber de motu*، تعطينا نتائج مقبولة لزمن بطلميوس ولعصر الخليفة المأمون؛ لكن الدالة تأخذ قيماً متعاظمة بسرعة بعد سنة ٨٨٧م. ونتيجة لذلك فهي تعطي قيماً غير مقبولة لزمن الزرقالي. ولتصويب هذه الظاهرة الشاذة عمد الزرقالي إلى اختيار أنموذج هندسي واعتماد جداول تتوافق مع ميول بطلميوس وفلكيي الخليفة المأمون، لكي تعطي لعصره قيماً معقولة (49° ,33 ; 23) حتى آخر سنة ١٠٧٤م).

وقبل أن نختم مع الزرقالي، يجب التنويه بزيجه(١٠٢) أيضاً، الذي استطاع بواسطته تحديد خط طول الشمس والكواكب، وعملياً من دون حساب، حيث استعمل السنوات ـ

= ويجب أن نشير إلى أن مدار عطارد في حلقة (Equatoire) ـ الآلة المسماة الكرة الفلكية المحلقة ـ الزرقالي لم يعد دائرة بل شكلاً بيضاوياً (أو شكل نواة الصنوبر). انظر: Willy Hartner, *Oriens, Occidens*, Collectanea; 3 (Hildesheim: G. Olms, 1968).

انظر أيضاً: Comes, *Ecuatorios - andalusles, Ibn al-Samh, al-Zarqālluh y Abū-l-Salt*, pp. 114 ss.

(١٠٠) انظر: Julio Samsó, «Sobre el modelo de Azarquiel para determinar la oblicuidad de la eclíptica,» in: *Homenaje al Prof. Darío Cabanelas O.F.M. con motivo de su LXX aniversario* (Granada: [n. pb.], 1987), vol. 2, pp. 367 - 377.

(١٠١) انظر: المصدر نفسه، ص ٣٦٧ ـ ٣٧٧، و: Millás Vallicrosa, *Estudios sobre Azarquiel*, pp. 243 - 245; Bernard Raphael Goldstein, «On the Theory of Trepidation According to Thābit b. Qurra and al-Zarqāllu and Its Implications for Homocentric Planetary Theory,» *Centaurus*, vol. 10 (1964), pp. 232 - 247.

(١٠٢) انظر: Millás Vallicrosa, *Estudios sobre Azarquiel*, pp. 72 - 237, and Marion Boutelle, «The Almanac of Azarquiel,» *Centaurus*, vol. 12, no. 1 (1967), pp. 12 - 20.

وانظر التقرير المهم لـ: Noël M. Swerdlow, in: *Mathematical Reviews*, vol. 41, no. 5149 (1971), p.4.

الحدود البابلية. وهكذا فنحن هنا أمام أول مؤلف من هذا النوع في العصر الوسيط، وقد ترك أثره العميق في الغرب المسلم والمسيحي على حد سواء. وباستثناء الجداول الشمسية التي قد تكون من نتائج أرصاد الزرقالي نفسه، فإن ما تبقى من هذا العمل ليس إلا تطويراً وتكييفاً لتقويم يوناني نستطيع حصر تاريخه بين العامين ٢٥٠ و٣٥٠م (واسم مؤلفه المفترض، أوماتييوس (Awmatiyûs)، منوه عنه في النص). وقد يكون لهذا التقويم ترجمة عربية في القرن العاشر، قبل عمل الزرقالي. ولا بد من التنويه بأن النماذج الهندسية، وكذلك الوسائط الحسابية، التي يمكن استنتاجها من الجداول الكوكبية، تبدو ذات أصل بطلمي.

ولقد عرفت أندلس القرن الحادي عشر ازدهاراً في ميدان علمي ثالث هو ميدان الكيمياء والتقنيات. وفيما يتعلق بالكيمياء يجب التنويه بأهمية أبي مسلمة المجريطي الذي يحوي كتابه **رتبة الحكيم**، وصفاً لتجارب قام بها وتؤدي إلى نوع من الإحساس الحدسي «بمبدأ حفظ المادة»[١٠٣]. ومن جهة أخرى، فإن وجود تقليد أندلسي في ميدان علم الميكانيكا، أصبح أمراً معروفاً منذ حوالى عشر سنوات، وذلك بفضل اكتشاف كتاب **الأسرار في نتائج الأفكار** لأحمد، أو محمد بن خلف المرادي. وهذا الكتاب موجود في مخطوطة وحيدة؛ وتحوي هذه المخطوطة أيضاً ملحوظة بخط إسحق بن سيد، الفلكي الأول لألفونس العاشر[١٠٤]. غير أننا نعرف بشكل أفضل تطور التقليد الزراعي، الذي رسمت معالم تاريخه لوسي بولنز (Lucie Bolens)[١٠٥]. فلقد ظهرت مدرسة للعلوم الزراعية، أولاً في طليطلة في ظل حماية المأمون، وفيما بعد في إشبيلية في ظل حكم بني عباد، ضمت وجوهاً علمية في تسلسل زمني غير معروف بدقة، لكن يبدو أن مجمل نشاطات هذه الوجوه جرى على امتداد حوالى نصف قرن (١٠٦٠ ـ ١١١٥م)[١٠٦]. والنصوص المحفوظة في هذا المجال هي بأغلبيتها غير كاملة، وهي عبارة عن بعض

---

(١٠٣) انظر: E. J. Holmyard, «Maslama al-Majrīṭī and the Rutbatu'l - Ḥakīm,» *Isis*, vol. 6, no. 18 (1924), pp. 293-305.

(١٠٤) انظر ملخص المسألة وكذلك المرجع المذكور في: Juan Vernet, «Alfonso X y la technología árabe,» in: *De Astronomia Alphonsi Regis*, pp. 39 - 41.

(١٠٥) انظر: Lucie Bolens, *Agronomes andalous du moyen âge*, études et documents / publiés par le département d'histoire générale de la faculté des lettres de l'Université de Genève; 13 (Genève: Droz, 1981).

انظر المراجع المذكورة في هذا المؤلف وكذلك في: Vernet and Samsó, «Panorama de la ciencia andalusí en el siglo XI».

وفي ما يلي لن نقدم سوى ما استجد من مراجع.

(١٠٦) انظر: Attié, «L'Ordre chronologique probable des sources directes d'Ibn al-'Awwām,» pp. 299 - 332.

الموجزات أو المختارات كتبها مؤلفون من شمال افريقيا(١٠٧). وفي هذا المجال يجب أن نذكر الطبيب ابن وافد (٩٩٩ ـ ١٠٧٤م)(١٠٨) وابن بصال (وكلاهما من طليطلة) وأبا خير(١٠٩) وابن حجاج(١١٠) (وكلاهما من إشبيلية) والطغناري(١١١) (الذي، بعد أن درس في إشبيلية تنقل بين عدة مدن في الأندلس وشمال أفريقيا). نضيف إلى هذه اللائحة اسم ابن العوام الذي عاش فيما بعد (لا بد أن كتابه يعود إلى نهاية القرن الثاني عشر) والذي لخص كل مساهمات المدرسة الأندلسية في هذا المجال(١١٢).

تلقى علم الزراعة الأندلسي خليطاً من عدة تقاليد زراعية قديمة. فمن جهة أولى نجد التقليدين البابلي والمصري عبر كتاب **الفلاحة النبطية** لابن وحشية(١١٣). ومن جهة ثانية نجد التقاليد القرطاجية والرومانية والهلينستية التي مارست تأثيرها خاصة عبر الترجمة العربية لمجلدات *Geo-ponika* البيزنطية. إن المصادر الأندلسية تذكر عدداً هائلاً من المؤلفين المنتمين إلى مختلف هذه التقاليد، لكن هذا الذكر كان يتم بطريقة غير مباشرة في أغلب الأحيان. كما تذكر المصادر الأندلسية أيضاً مصادر أخرى مثل **الفلاحة الرومية** و**الفلاحة الهندية**. والكتاب الأول (على الأقل) المنسوب إلى مؤلف يدعى قسطس، يبدو أنه مزور وأنه من

---

(١٠٧) في ما يخص المصادر المخطوطة والمؤلفين المفترضين، انظر: E. Gárcia Sánchez, «Problemática en torno a la autoría de algunas obras agrónomicas andalusíes,» in: *Homenaje al Prof. Darío Cabanelas O.F.M. con motivo de su LXX aniversario,* vol. 2, pp. 333 - 341.

(١٠٨) إن نسبة أحد المؤلفات الزراعية إلى هذا الكاتب كانت موضع نقاش، حيث نُسب هذا المؤلف إلى أبي القاسم بن عباس النهراوي الذي قد يكون الطبيب والجراح المشهور من القرن العاشر، أبا القاسم خلف بن عباس الزهراوي.

(١٠٩) انظر: J. M. Carabeza, «Un agrónomo del siglo XI: Abū-l-Jayr,» in: García Sanchez, éd., *Ciencias de la Naturaleza en al-Andalus: Textos y Estudios,* vol. 1, pp. 223 - 240.

(١١٠) انظر: Attié, «Ibn Haǧǧāǧ était-il polyglotte?» pp. 243 - 261; et J. M. Carabeza, «Aḥmad b. Muḥammad b. Ḥaŷŷāŷ al-Ishbīlī: Introduccion, estudio y traduccion, con glosario,» (Unpublished Ph. D. Thesis, University of Granada, 1988).

(١١١) انظر: García Sánchez: «El tratado agrícola del granadino al-Ṭignarī,» *Quaderni di Studi Arabi,* vols. 5 - 6 (1987 - 1988), pp. 278 - 291; «Al-Ṭignarī y su lugar de origen,» *Al-Qanṭara,* vol. 9 (1988), pp. 1 - 11, and «Agricultura y legislación islámica: El prólogo del *Kitāb Zuhrat al-Bustān* de al Ṭignarī,» in: García Sánchez, éd., *Ciencias de la Nuturaleza en al-Andalus: Textos y Estudios,* vol. 1, pp. 179 - 193.

(١١٢) انظر: J. A. Bianqueri, *Libro de Agricultura* (Madrid: [n. pb.], 1802), réimprimé avec une étude de E. García Sánchez et J. E. Hernandez Bermejo (Madrid: [n. pb.], 1988).

(١١٣) انظر: M. El-Faiz, «Contribution du *Livre de l'Agriculture Nabatéenne* à la formation de l'agronomie andalouse médiévale,» in: García Sánchez, éd., *Ciencias de la Naturaleza en al-Andalus: Textos y Estudios,* vol. 1, pp. 163 - 177.

صناعة علي بن محمد بن سعد[١١٤]، في حوالى النصف الثاني من القرن العاشر. ومن ناحية أخرى، وكما أشرنا في الفقرة الأولى من هذا العرض، فإن المؤرخين منذ نهاية القرن الثامن عشر ركزوا على التأثير المباشر للتقليد الزراعي اللاتيني.

يبدو، إذن، أن علم الزراعة الأندلسي استند إلى أدبيات هامة في علوم الزراعة كانت في متناول الكتاب في القرن الحادي عشر. لكنه، إضافة إلى ذلك، لم ينفصل قط عن التجربة أو عن تقليد حدائق علم النبات الذي بدأ في القرن الثامن في قرطبة واستمر حتى القرن الحادي عشر في طليطلة وإشبيلية. كما تجدر الإشارة إلى مظهر ثالث من مظاهر علم الزراعة، وهو الجهد النظري الذي بذله علماء الزراعة الأندلسيون لكي يجعلوا من هذا الميدان علماً بكل معنى الكلمة. ولتحقيق هذه الغاية، ارتكزوا على علمين آخرين أكثر تطوراً هما: علم النبات وصناعة العقاقير من جهة، وعلم الطب من جهة أخرى. وأول هذين الميدانين العلميين وصل إلى أوجه في الأندلس مع كتاب **عمدة الطبيب في معرفة النبات لكل لبيب**، الذي لا يعرف اسم مؤلفه، والذي كتب في القرن الحادي عشر أو في الثاني عشر[١١٥]. ونجد في هذا الكتاب محاولة رائعة لتصنيف منهجي للنباتات وذلك بتقسيمها إلى «أجناس» و«أنواع» و«أصناف». وهذا التصنيف يعتبر أرقى بكثير من أنظمة التصنيف الشائعة بين علماء النبات منذ أرسطو وتيوفراست. وحتى وإن لم نجد تأثيراً صريحاً لهذا الكاتب النباتي المجهول الاسم على علماء الزراعة الأندلسيين، يجب أن نشير إلى أن هؤلاء اهتموا بشكل واضح بمسألة تصنيف النباتات. فنجد مثلاً، أن ابن بصال يشير إلى أن التطعيم لا يتم إلا بين نباتات من طبيعة واحدة ويقدم، على هذا الأساس، بياناً تصنيفياً للنباتات حسب عائلاتها؛ كما نجد جهوداً مشابهة في أعمال ابن العوام.

ويبدو الطب، كما علم النبات، متصلاً بعلم الزراعة منذ نشأة هذا الميدان العلمي في الأندلس. فلقد نسب إلى أبي القاسم الزهراوي كتاب في الزراعة. وإن كون هذه النسبة موضعاً للنقاش حالياً، لا ينفي واقع أن ابن الوافد والطغناري كانا طبيبين. لذلك فليس من المستغرب أن يكون علماء الزراعة الأندلسيون قد بنوا نظرية تبدو على ارتباط وثيق بنظرية الأخلاط لأبقراط وجالينوس. فالأخلاط الأربعة للجسم الإنساني (الصفراء، والسوداء، والبلغم، والدم) قد استبدلت بعناصر أمباذوكليس الأربعة (التراب، والماء، والهواء، والنار) وحل السماد مكان النار. ولكل من هذه العناصر الأربعة ميزتان تعودان إلى تقليد كلاسيكي (التراب بارد وجاف؛ الماء رطب وبارد؛ والهواء حار ورطب)، باستثناء السماد (حار ورطب، خلافاً للنار الحارة والناشفة). وتقول نظرية الأخلاط أن

---

(١١٤) انظر: Bachir Attié, «L'Origine d'*al-Falāḥa ar-Rūmīya* et du Pseudo - Qusṭūs,» *Hespéris - Tamuda*, vol. 13, fascicule unique (1972), pp. 139 - 181.

(١١٥) انظر: Miguel Asín Palacios, «Avempace Botánico,» *Al-Andalus*, vol. 5 (1940), pp. 255 - 299.

الجسم الإنساني يكون سليماً عندما يكون هناك توازن بين الأخلاط الأربعة، وبأن المرض يظهر عندما يختل توازن أحدها بالنسبة الى الأخرى. ولقد طبق المبدأ نفسه في الزراعة، التي تستخدم أيضاً نظام تكاملية عناصر العلاج مع جسم المريض.

ويصف علماء الزراعة الأندلسيون وبطريقة دقيقة للغاية أخلاطاً مكيفة حسب المسألة المطروحة ومبررة نظرياً بناءً على خصائص التربة. فالتربة، الباردة والناشفة بطبيعتها، لا يمكنها أن تثمر إلا بتلقي الحرارة (من الشمس والهواء وكذلك من السماد) والرطوبة (من الماء). ويقوم أولئك العلماء الزراعيون بتصنيف مفصل للتراب ويبذلون مجهودات جدية لاستصلاح أراضٍ كانت تعتبر حتى ذلك الوقت غير صالحة للزراعة، معتمدين فقط على النشاط البشري. إضافة إلى ذلك، فقد تصدوا للتقليد الكلاسيكي الذي يهمل التربة السوداء مشيرين إلى أهمية هذه التربة الغنية بالمواد العضوية. إننا نجد أيضاً تصنيفات واقعية لمختلف أنواع المياه كما نجد وصفاً للتقنيات الضرورية من أجل حبسها واستخدامها(١١٦): الأقنية(١١٧)، الآبار، والنواعير(١١٨). وتلح النصوص أيضاً على أهمية الحراثة التي توصل الهواء والحرارة إلى الجذور وعلى تقنيات الاعتناء بالتربة (إراحة الأرض، تناوب المزروعات - عدم تكرار زراعة الصنف نفسه في الأرض نفسها). وهنا يلعب السماد دوراً أساسياً، ونقع مرة أخرى على محاولات لتصنيف مختلف أنواع السماد، وعلى صيغ مفصلة تعطي أخلاطاً ملائمة لحاجات التربة وللمزروعات المقصودة. وعلى العموم فقد بلغت الزراعة الأندلسية، حسب لوسي بولنز مستوىً تقنياً رفيعاً لم يتجاوزه الأوروبيون إلا في القرن التاسع عشر مع تطور علم الكيمياء. وفي هذا المجال يستحسن التذكير بأن مؤلف ابن العوام في علم الزراعة قد ترجم إلى الاسبانية، ومن ثم إلى الفرنسية عند منتصف القرن الثامن عشر وبداية القرن التاسع عشر. ونشير الى أن هاتين الترجمتين قد أنجزتا لا بدافع علمي بحت إنما لأغراض تطبيقية. ولا بد من الإشارة إلى أهمية التقنيات الموجودة في هذا الكتاب بالنسبة إلى تطور الزراعة في إسبانيا والجزائر.

---

(١١٦) انظر: Thomas F. Glick, *Irrigation and Society in Medieval Valencia* (Cambridge, Mass.: Belknap Press of Harvard University Press, 1970).

(١١٧) انظر: Jaime Oliver Asín, *Historia del nombre «Madrid»* (Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto Miguel Asín, 1959), and Henri Goblot, *Les Qanats: Une technique d'acquisition de l'eau,* industrie et artisanat; 9 (Paris; New York: Mouton, 1979).

(١١٨) انظر: Leopoldo Torres Balbás, «Las norias fluviales en España,» *Al-Andalus,* vol. 5 (1940), pp. 195 - 208, and J. Caro Baroja, «Norias, azudas, aceñas,» *Revista de Dialectología y Tradiciones Populares,* vol. 10 (1954), pp. 29 - 160.

رابعاً: القرن الفلسفي

لقد كان القرن الحادي عشر الميلادي، من دون شك، القرن الذهبي للعلم الأندلسي، لكن القرن الذي تلاه شهد بداية انحطاط بطيء. ومحاولات التوحيد السياسي التي جرت في ظل عهد المرابطين (١٠٩١ ـ ١١٤٤م) ومن ثم في ظل عهد الموحدين (١١٤٧ ـ ١٢٣٢م)، لم تتسبب دائماً بحماية النشاطات الثقافية ورعايتها، ولا يغير في هذا الواقع كون أشهر الفلاسفة (ابن باجه، ابن طفيل، ابن رشد) أطباء عند الخلفاء الموحدين، قاموا بأبحاث في ظل حمايتهم. وخلال هذه المرحلة الطويلة تنامى تأثير الفقهاء في ظل الموحدين، مما لم يساعد على تسهيل البحث في علم الفلك، ومما خلق من جهة أخرى مناخاً غير مشجع لعدد من العلماء العاملين في مجالات العلوم الدقيقة، ومنهم موسى بن ميمون (Maïmonide) الذي عاش في مصر منذ العام ١١٦٦م وحتى وفاته في العام ١٢٠٤م. ومنهم أيضاً أبو السلط أمية الداني (بين ١٠٦٧ و١١٣٤م) الذي جعلته إقامته التعيسة في مصر (١٠٩٥ ـ ١١١٢م) يكتب تعليقات فيها الكثير من الاحتقار لمعارف الفلكيين والأطباء المصريين[١١٩]. كما يبدو أن وصول المرابطين إلى السلطة كان سبباً في ذهاب الرحالة الذي لا يعرف الكلل أبي حامد الغرناطي (١٠٨٠ ـ ١١٦٩م) إلى الشرق. نشير إلى أن رسالة أبي حامد في علم الأرض (Cosmographique) وهي **المعرب عن بعض عجائب المغرب** كان الأحرى بها أن تحمل في عنوانها كلمة «المشرق» بدل كلمة «المغرب». فهذا النص يحوي كمية كبيرة من عناصر علم الميقات، التي للأسف لا تعود إلى الأندلس إنما إلى طبرستان[١٢٠].

وتبدو تطورات بعض الفروع العلمية في هذا العصر متواصلة مع اتجاهات القرن السابق. فمنذ القرن العاشر مشى علم النبات وعلم العقاقير الأندلسيان على خطى ديوسقوريدس مع وجود بعض المستجدات أحياناً. فقد كتب الطبيب ابن بكلاريش وهو كاتب من أوائل القرن، رسالة في علم العقاقير هي **المستعيني** ضمنها فصلاً في علم الطب على شكل جداول شاملة، على طريقة ابن بطلان وابن جزلة. وهو من جهة أخرى، قد حذا حذو أبي القاسم الزهراوي، فاهتم بمسألة، عولجت فيما بعد من قبل ابن رشد تتفرع من مسألة للكندي. وهذه المسألة هي احتساب «درجة» علاج مركب من عدة عناصر

---

(١١٩) انظر: A.L. de Prémare, «Un andalou en Egypte à la fin du XVe siècle: Abū-l-Ṣalt de Dénia et son épître égyptienne,» *Mélanges de l'institut dominicain d'études orientales du Caire*, vol. 8 (1964 - 1966), pp. 179 - 208.

(١٢٠) انظر: «Abu Hāmid,» in: *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 1, pp. 29 - 30.

ولقد كان «المُعرب» موضوع أطروحة دكتوراه لم تنشر بعد قدمها إ. بجارانو (I. Bejarano) في برشلونة عام ١٩٨٧، تحوي تحقيق النص وترجمته إلى الاسبانية.

بسيطة لها خصائص و«درجات» مختلفة[121].

إلا أن علم العقاقير الأندلسي اهتم غالباً بالمسائل التي سبق وطرحت في القرنين السابقين. فابن باجه، وهو مؤلف **اللائحة الإضافية** *(Addenda)* المكملة لأعمال ابن وافد في علم العقاقير، التي يبدو أنها مفقودة، قد كتب حول مسألة تصنيف النبات[122]. كما أن ابن ميمون، في كتابه، **شرح أسماء العقار**، عاد وطرح مجدداً مسألة المصطلحات النباتية[123]، وهذه المسألة كانت نقطة انطلاق الأبحاث التي جرت في قرطبة حول الترجمة العربية لكتاب ديوسقوريدس كما كانت منطلقاً لأبحاث ابن جلجل. وقد مهد كتاب آخرون مثل الغافقي[124] وأبي العباس النبطي (حوالى ١١٦٦ ـ ١٢٤٠م)[125] الطريق للإنجاز التركيبي الكبير الذي أنهاه في القرن التالي ابن البيطار. فقد كتب هؤلاء المؤلفون رسائل ذات صفات موسوعية في علم العقاقير ابتغوا من خلالها جمع معارف ديوسقوريدس وابن جلجل إلى معارف التقاليد اللاحقة، مضيفين إليها مساهماتهم الشخصية التي تتعلق، طبعاً، بالنباتات الموجودة في شبه الجزيرة الإيبيرية. إضافة إلى ما سبق نشير إلى أن هذا القرن شهد ظهور كتاب ابن العوام العظيم، ذي الصفة التركيبية، في مجال العلوم الزراعية الأندلسية.

لم تكن روح الرصد العلمي، إذن، غائبة تماماً في هذا العلم الأندلسي في القرن الثاني

---

(١٢١) حول هذا الكاتب، انظر: H. P. J. Renaud, «Notes critiques d'histoire des sciences chez les musulmans. I. Les Ibn Bāṣo,» *Hespéris*, vol. 24, 1er - 2e trimestres (1937), pp. 1 - 12.

انظر أيضاً الأعمال الأكثر حداثة لـ: M. Levey, in: *Studia Islamica*, vol. 6 (1969), pp. 98 - 104, and *Journal for the History of Medicine*, vol. 26 (1971), pp. 413 - 421.

ولقد نشر م. ليفي (M. Levey) وس. س. سوريال (S. S. Souryal) ترجمة انكليزية لمقدمة المستعيني تحوي جميع الأقسام النظرية لهذا العمل. وهذه الترجمة منشورة في: *Janus*, vol. 55 (1968), pp. 134-166.

وقد نشر أ. لابارتا (A. Labarta) ترجمة مفسرة لهذه المقدمة في: *Estudios sobre Historia de la Ciencia árabe*, pp. 181 - 316.

وحول مصادر ابن بكلاريش، انظر: A. Labarta, in: *Actas del IV Coloquio Hispano-Tunecino* (Madrid: [n. pb.], 1983), pp. 163 - 164.

(١٢٢) انظر: Asín Palacios, «Avempace Botánico,» pp. 255 - 299.

(١٢٣) انظر: Max Meyerhof, «Un glossaire de matière médicale de Maïmonide,» dans: *Mémoires présentés à l'Institut d'Egypte* (Le Caire: [s. n.], 1940), vol. 41.

(١٢٤) انظر: Max Meyerhof and G. P. Sobhy, eds. and trs., *The Abridged Version of «The Book of Simple Drugs» of Aḥmad Ibn Muḥammad al-Ghāfiqī by Gregorius Abū'l - Farag (Barhebraus)* (Cairo: [n. pb.], 1932 - 1940).

(١٢٥) انظر: A. Dietrich, «Quelques observations sur la matière médicale de Dioscoride parmi les arabes,» in: *Oriente e Occidente nel Medioevo: Filosofia e Scienze* (Roma: Accademia dei Lincei, 1971), pp. 375 - 390.

عشر، وذلك حتى عند المفكرين التأمليين كابن رشد (١١٢٦ ـ ١١٩٨م)، الذي أشير مرات عديدة إلى اهتمامه بمراقبة الطبيعة[١٢٦]، وإلى بعض الأصالة في تقديم عناصر علم التشريح في كتابه كتاب **الكليات** *(Colliget)* حيث لا يتردد في تصحيح ما لزم من مصادره أو في استخدام بعض الأدلة المبنية على الملاحظة (بـ «الحس»)[١٢٧]. وفي الواقع، يبدو أن ابن رشد كان مهتماً بالملاحظات الفلكية البسيطة كتلك التي أجراها على النجم سهيل في مراكش عام ١١٥٣م، وهو نجم لا يرى من شبه الجزيرة الإيبيرية؛ نشير هنا إلى أنه استخدم حجة شبيهة بحجة أرسطو المشهورة، مستنتجاً منها كروية الأرض[١٢٨].

وقد ارتدت أرصاد الكلف الشمسي المنسوبة الى ابن رشد وابن باجه المزيد من الأهمية. وقد علل هذان المؤلفان الأكلاف الشمسية بمرور عطارد والزهرة أمام الشمس[١٢٩]. إن هذا التعليل يؤدي من قبل هذين العالمين إلى نقد مواقف بطلميوس وجابر بن أفلح حول ترتيب الكرات الكوكبية، وهي قضية كانت موضوع نقاش طويل في أندلس القرن الثاني عشر. وبالفعل، فقد كان تعليل بطلميوس لعدم مرور هذين الكوكبين أمام الشمس يرتكز على كونهما سفليين لا يمكن أن يمرا بين الخط الذي يجمع ما بين الشمس وأعيننا[١٣٠]. ولقد

---

(١٢٦) انظر: M. A. Alonso, «Averroes observador de la naturaleza,» *Al-Andalus*, vol. 5 (1940), pp. 215 - 230, and M. Cruz Hernandez: «El pensamiento de Averroes y la possibilidad del nacimiento de la ciencia moderna,» paper presented at: *Actas del XII Congresso Internazionale de Filosofia XI* (Florence: [n. pb.], 1960), pp. 76 - 77, and *Abū-l-Walīd Ibn Rushd: Vida, obra, pensamiento, influencia* (Córdoba: [n. pb.], 1986).

(١٢٧) انظر: F. X. Rodríguez Molero, «Originalidad y estilo de la Anatomía de Averroes,» *Al-Andalus*, vol. 15 (1950), pp. 47 - 63,

الذي درست أطروحاته من قبل: Esteban Torre, *Averroes y la ciencia médica: La Doctrina anatomofuncional del Colliget*, Ciencia y técnica; 21 (Madrid: Ediciones del Centro, 1974).

انظر أيضاً: Ibn Rushd, *Kitāb al-Kulliyyāt*, édition critique par J. M. Forneas et C. Alvares Morales (Madrid: [s. n.], 1987).

(١٢٨) انظر: Léon Gauthier, *Ibn Rochd (Averroès)*, les grands philosophes (Paris: Presses universitaires de France, 1948), p. 5.

(١٢٩) انظر: G. Sarton, «Early Observations of the Sun-Spots?» *Isis*, vol. 37 (1947), pp. 69 - 71; Aydin Mehmed Sayili, *The Observatory in Islam and Its Place in the General History of the Observatory*, Publications of the Turkish Historical Society; ser. 7, no. 38 (Ankara: Türk Tarih Kurumu Basimevi, 1960), pp. 184 - 185, and Bernard Raphael Goldstein, «Some Medieval Reports of Venus and Mercury Transits,» in: Bernard Raphael Goldstein, *Theory and Observation in Ancient and Medieval Astronomy*, Variorum Reprint, CS 215 (London: Variorum Reprints, 1985), XV.

(١٣٠) Claudius Ptolemaues, *Almagest*, IX, 1.

كان تعليل بطلميوس هذا موضع نقاش جدي، بحق، من قبل جابر ومن قبل البطروجي[١٣١]. ولكن جابر اقترح ترتيباً مغايراً للكواكب حيث اعتبر أن كلاً من عطارد والزهرة فوق الشمس. وإضافة إلى غياب مرورهما أمام الشمس كانت حجته الأساسية أن هذين الكوكبين لا يقعان على زاوية اختلاف مرئية عندما يكونان أقرب إلى الأرض من الشمس[١٣٢]. أما البطروجي فيقدم الترتيب التالي: القمر - عطارد - الشمس - الزهرة. . . الخ، ويرفض حجة المرور المذكورة لأنه يعتقد أن لعطارد كما للزهرة ضوءهما الخاص بهما، فلا يمكن بالتالي أن نلاحظ مرورهما أمام الشمس. انقسم فلكيو الأندلس في القرن الثاني عشر الميلادي بين مؤيد ومعارض لنظرية بطلميوس الفلكية. فالمؤيدون، كأبي السلط الداني (نسبة إلى مدينة دانية (Denia)) (حوالى ١٠٦٧ - ١١٣٤م) وابن الكمّاد (في أوائل ذلك القرن) وابن الهائم (حوالى ١٢٠٥م) تبعوا تقليد الزرقالي. أما منتقدو بطلميوس، فمنهم من انتقده من مواقع هي بالنتيجة بطلمية (مثل جابر بن أفلح) ومنهم من فعل انطلاقاً من مواقع أرسطوطالية (مثل ابن رشد والبطروجي. . . الخ).

وفي مجال علم الفلك «المستقيم» (الأورثوذكسي، التقليدي (المترجم))، سنبدأ بأبي السلط الداني الذي كتب في الأسطرلاب وفي الصفيحة الجامعة. ومقالته حول هذه الآلة الأخيرة هي النص الثالث من هذا النوع الذي حفظته الأيام بعد نصّي ابن السمح والزرقالي. وهي تبدو توسيعاً لنص هذا الأخير حول الصفيحة الجامعة، لكن الوسائط المستعملة فيها بطلمية[١٣٣]. ولقد وضع إبن الكماد جداول فلكية لم تدرس إلا قليلاً، يظهر فيها بوضوح تأثير الزرقالي، على الأخص فيما يتعلق بالجداول الشمسية[١٣٤]. أما كتاب **الزيج الكامل في التعاليم** لابن الهائم الإشبيلي فهو مجموعة طويلة من القواعد (القوانين) خالية من الجداول الرقمية، نجد فيها براهين هندسية جيدة الإتقان. وفي هذا الكتاب يبرز ابن الهائم كتلميذ أمين للزرقالي، ويعطي كمية كبيرة من المعلومات الجديدة

---

(١٣١) Nūr al-Dīn Abū Isḥāk al-Bitrūjī, *On the Principles of Astronomy,* an edition of the arabic and hebrew versions with translation, analysis, and an arabic-hebrew-english glossary by Bernard R. Goldstein, Yale Studies in the History of Science and Medicine; 7, 2 vols. (New Haven, Conn.: Yale University Press, 1971), vol. 1, pp. 123 - 125.

(١٣٢) انظر: Richard P. Lorch, «The Astronomy of Jābir Ibn Aflaḥ,» *Centaurus,* vol. 19, no. 2 (1975), pp. 85 - 107, and «Jābir Ibn Aflaḥ,» in: *Dictionary of Scientific Biography,* vol. 7, pp. 37 - 39.

(١٣٣) انظر: Kennedy [et al.], *Studies in the Islamic Exact Sciences,* pp. 481 - 489, and Comes, *Ecuatorios - andalusíes, Ibn al-Samḥ, al-Zarqālluh y Abū-l-Ṣalt,* pp. 139 - 157 and 237 - 251.

(١٣٤) انظر: Vernet, «Un tractat d'obstetríacia astrológica,» pp. 273 - 300, and Toomer, «The Solar Theory of Az-Zarqāl: An Epilogue,» pp. 513 - 519.

التي تتعلق بنشاط مدرسة طليطلة في النصف الثاني من القرن الحادي عشر.

وفيما يتعلق بالانتقادات الموجهة لِ **المجسطي**، نشير إلى أن كتاب جابر بن أفلح **إصلاح المجسطي** ليس منشوراً حتى الآن، مع الأسف. وقد يكون هذا الكتاب عملاً أساسياً في تطور علم الفلك «الأورثوذكسي» في القرن الثاني عشر(١٣٥). في هذا الكتاب يبرز جابر ككاتب نظري ينتقد بعض مظاهر **المجسطي** كعدم تقديم بطلميوس لبرهان حول تنصيف الانحراف الكوكبي عن المركز. ومن جهة ثانية، يصف جابر في عمله هذا آلتين للرصد بإمكانهما أن تشكلا استباقاً للآلة الفلكية التي سميت في الغرب «Torquetum»(١٣٦)، ويساهم أيضاً في أن ينتشر في أوروبا علم المثلثات الجديد الذي سبق وأدخله إلى الأندلس ابن معاذ في القرن السابق؛ فهو يستخدم «قاعدة الكميات الأربع» ومبرهنات الجيب وجيب التمام و«مبرهنة جابر» (Théorème de Geber). ولقد عرف كتاب **الإصلاح** هذا في أوروبا بفضل ترجمة إلى اللاتينية قام بها جيرار دو كريمون وبفضل ترجمتين عبريتين. ولقد كان يذكر غالباً في المراجع الأوروبية ابتداءً من القرن الرابع عشر. فالقسم منه المتعلق بعلم المثلثات، يعتبر مصدر كتاب *De triangulis* لريجيومونتانوس.

لكن «الاستثمار» الأوروبي لهذا القسم يعود لتاريخ أبعد، ذلك لأن فلكيي ألفونس العاشر قد استعملوا بكفاءة سنة ١٢٨٠م سلسلة المبرهنات التي قدمها جابر(١٣٧) في علم المثلثات. ومن ناحية أخرى، فقد دخل كتاب **الإصلاح** إلى مصر في القرن الثاني عشر، مع يوسف بن يهودا بن شمعون، تلميذ ابن ميمون الذي درس وراجع معه النسخة الأصلية. ولقد كان هذا الكتاب معروفاً في دمشق في القرن الثالث عشر الميلادي حيث أوجزه قطب الدين الشيرازي (١٢٣٦ ـ ١٣١١م).

ولقد عوض نشوء علم الفلك «الفيزيائي» بشكل أو بآخر عن النقص المتمثل في التطور الضعيف لعلم الفلك الرياضي ـ بعد الازدهار الذي عرفه القرن الحادي عشر. ويبدو أن علم الفلك الفيزيائي لم يسبق له أن درس في الأندلس قبل القرن الثاني عشر. وهذا القرن الذي سيطر فيه الفلاسفة الأرسطوطاليون، نجد فيه مفكرين من أمثال ابن رشد، ابن ميمون، ابن باجه وابن طفيل، كانوا يحلمون ببناء علم فلك بإمكانه أن يتوافق

---

(١٣٥) انظر: Noël N. Swerdlow, «Jābir Ibn Aflaḥ's Interesting Method for Finding the Eccentricities and Direction of the Apsidal Line of a Superior Planet,» in: King and Saliba, eds., *From Deferent to Equant: A Volume of Studies in the History of Science in the Ancient and Medieval Near East in Honor of E. S. Kennedy*, pp. 501 - 512, and Toomer, Ibid., pp. 513 - 519.

(١٣٦) انظر: Richard P. Lorch, «The Astronomical Instruments of Jābir Ibn Aflaḥ and the *Torquetum*,» *Centaurus*, vol. 20 (1976), pp. 11 - 34.

(١٣٧) انظر: E. Ausejo, «Trigonometría y astronomía en el *Tratado del Cuadrante Sennero* (c. 1280),» *Dynamis*, vol. 4 (1984), pp. 7 - 22.

مع فيزياء أرسطو. وهذه الفيزياء لا تعترف إلا بثلاثة أنواع من الحركة (الطاردة المركزية، والانجذابية المركزية، والدائرية حول مركز (هو الأرض فيما خص علم الفلك). وهذا الاتجاه يقضي برفض علم الفلك البطلمي الذي يعتمد على دوائر متداخلة مختلفة المراكز وعلى أفلاك التدوير، كما يعبر عن الرغبة في العودة إلى نظام الكرات الموحدة المركز. كانت هذه الأفكار مقبولة، مع بعض الفوارق، لدى الفلاسفة الأربعة المذكورين. لكن، على الرغم من حيازتنا على عدد من الاستشهادات غير المباشرة التي تدعو إلى الاعتقاد بأن ابن باجه وابن طفيل كان لديهما تصور لأنظمة فلكية «فيزيائية»، إلا أننا لا نملك التفاصيل التي تثبت هذا الاعتقاد، وما نعرفه لا يتجاوز التصريحات المبدئية. أما بالنسبة إلى ابن رشد، فالأمر معروف تماماً وتعتبر حالته مثيرة للفضول. ففي شروحاته المسهبة لـ «ميتافيزيقا»[١٣٨] أرسطو التي صاغها في العام ١١٧٤ م (في كتابه التلخيص) يبدو متقبلاً لعلم الفلك البطلمي، لكنه فيما بعد (بعد ١١٨٦م) في شروحاته الكبيرة (التفسير) للموضوع نفسه، نراه يتراجع ويرفض هذا العلم البطلمي[١٣٩]. وفي كتابه الأخير هذا يطرح ابن رشد المبادىء التي ينبغي أن يعتمدها الإصلاح في علم الفلك (وأغلب هذه المبادىء قد تبناها البطروجي). وفيه يعترف بأن تقدمه في السن يمنعه من مباشرة الأبحاث اللازمة في هذا المجال حتى وإن كانت قد راودته في شبابه آمال بذلك.

ومن جهة أخرى، وعلى الرغم من رفضهم أفكار بطلميوس المتعارضة مع أرسطو، فإن هؤلاء المؤلفين كانوا يدركون الطاقات التنبؤية لعلم الفلك المجسطي. فلقد كان ابن ميمون، المقتنع بأن الكون البطلمي لا ينطبق مع الكون الحقيقي، يعتقد أيضاً أن الإنسان ليس بإمكانه أن يصل إلى المعرفة الصحيحة للقوانين التي تنظم بنية الكون. على هذا الأساس، نراه يستخدم بمنتهى الكفاءة علم الفلك البطلمي في كتابه الاحتفال بالهلال حيث يجد نفسه في مواجهة مسألة معقدة بشكل خاص، وهي رؤية الهلال الجديد[١٤٠].

---

(١٣٨) ترجمت إلى العربية تحت عنوان الفلسفة الأولى أو ما بعد الطبيعة. (المترجم).

(١٣٩) انظر: A. I. Sabra: «An Eleventh - Century Refutation of Ptolemy's Planetary Theory,» in: *Science and History: Studies in Honor of Edward Rosen,* edited by Erna Hilfstein, Pawel Czartoryski and Frank D. Grande, Studia Copernicana; 16 (Wroclaw: Ossolineum, 1978), pp. 117-131, and «The Andalusian Revolt against Ptolemaic Astronomy: Averroes and al-Biṭrūjī,» in: Everett Mendelsohn, ed., *Transformation and Tradition in the Sciences: Essays in Honor of I. Bernard Cohen* (Cambridge; New York: Cambridge University Press, 1984), pp. 133 - 153, and Francis J. Carmody, «The Planetary Theory of Ibn Rushd,» *Osiris,* vol. 10 (1952), pp. 556 - 586.

(١٤٠) انظر: Mosen ben Maimon, *Sanctification of the New Moon,* translated from the hebrew by S. Gandz, with supplementation and an introduction by J. Obermann and an astronomical commentary by O. Neugebauer, His the Code of Maimonides, Book 3, Treatise 8 (New Haven, Conn.: Yale University Press, 1956).

ويبدو بوضوح أن هؤلاء الفلاسفة الأربعة كانوا يعرفون بطلميوس. فلقد كان ابن باجه قادراً على احتساب الخسوف، «كان قد عرف وقت خسوف البدر بصناعة التعديل»[١٤١]. وبالإضافة إلى هؤلاء نرى البطروجي أيضاً يمدح دقة وصواب المجسطي الذي تشتق منه كل الوسائط العددية التي استخدمها في كتابه كتاب في الهيئة.

ولقد كان البطروجي الوحيد بين ممثلي المدرسة الأرسطوطالية في الأندلس في القرن الثاني عشر الذي توصل إلى صياغة نظام فلكي جنيني وحيد المركز في الاتجاه الذي رسمه أودوكس[١٤٢]. ولقد أدخل ضمن هذا النظام قدراً كبيراً من الاسهامات الفلكية السابقة، من بطلميوس وحتى الزرقالي[١٤٣]. فهو يعتبر أولاً أنه، إذا كان أصل كل الحركات السماوية موجوداً في «المحرك الأول» الكائن في الكرة التاسعة، فمن المحال التفكير بأن هذا «المحرك الأول» ينقل إلى الكرات السفلى حركات متعاكسة الاتجاه: حركة نهارية من الشرق إلى الغرب وحركة حسب خط الطول من الغرب إلى الشرق. فيجب أن نسلم بأن حركة الكرة التاسعة ـ وهي الأسرع والأقوى والأبسط من بين كل الحركات ـ تنتقل إلى الكرات الأدنى وتصبح حركات أكثر فأكثر بطئاً كلما ازداد بعدها عن المحرك الأول. فحركة المبادرة لكرة النجوم الثابتة والحركات حسب خطوط الطول للكرات الكوكبية تشكل نوعاً من التأخير أو الكبح («التقصير»، وباللاتينية «incurtatio») الذي يخفف من سرعة الحركة النهارية. وهنا يطرح هذا الكاتب مسألة لم يكن بإمكانه حلها، وهي مسألة انتقال الحركة من الكرة التاسعة إلى الكرات الأدنى. ويحاول البطروجي أن يشرح هذه الظاهرة عن طريق استعارتين لهما، في كل الأحوال، فائدة تتجلى بطرح مسألة تشبيه علم الحركة الفلكي بعلم الحركة الأرضي. ولقد كان دوهيم (Duhem) أول من لفت الانتباه إلى أولى هاتين الاستعارتين، ولاحظ أن البطروجي يسترجع في هذا المجال نظرية «الميل» (impetus) العائدة لعلم الحركة الأفلاطوني المحدث (néoplatonicienne) التي شكلها جان فيليبون في القرن السادس للميلاد: فكما أن النبال يعطي للسهم «الميل القسري» الذي يواصل دفعه بعد أن ينطلق طائراً منفصلاً عن دافعه، يمكننا أن نتصور انتقال الحركة بين الكرات السماوية حتى وإن كان منفصلاً بعضها عن البعض الآخر[١٤٤]. والتشبيه الثاني له أيضاً طابع نيوأفلاطوني، وأتى في الأصل من الفيلسوف أبو البركات البغدادي (القرن الحادي عشر ـ القرن الثاني عشر) والذي أدخلت أعماله إلى الأندلس عن طريق اسحق بن

---

(١٤١) انظر: أبو العباس أحمد بن محمد المقري، **نفح الطيب من غصن الأندلس الرطيب**، تحقيق إحسان عباس، ٨ ج (بيروت: دار صادر، ١٩٦٨)، ج ٧، ص ٢٥.

(١٤٢) انظر: Edward Stewart Kennedy, in: *Speculum*, vol. 29 (1954), p. 248.

(١٤٣) انظر: Goldstein, «On the Theory of Trepidation According to Thābit b. Qurra and al-Zarqāllu and Its Implications for Homocentric Planetary Theory,», pp. 232 - 247.

(١٤٤) انظر: Pierre Maurice Marie Duhem, *Etudes sur Léonard de Vinci*, 3 vols. (Paris: A. Hermann, 1906 - 1913), vol. 2, p. 191.

ابراهيم بن عزرا، الذي كان تلميذه في بغداد. فكما البغدادي، كذلك البطروجي كان يعتبر أن الحركة الدائرية للكرات السماوية مبررة «بالشوق» (والكلمة من عند البطروجي) الذي تكنه كل كرة للكرة التي تليها في العلو، وهذا الشوق يشابه الشوق الذي تكنه الأصول الأربعة لتحتل مكانها الطبيعي. غير أن كل جزء من الكرة الأدنى يوجد في وقتٍ ما بقرب جزء من الكرة الأعلى، فلا يستطيع إخماد شوقه إلا جزئياً. لهذا السبب تتحرك الكرة الأدنى، وهذه الحركة الدائرية هي نتيجة المجهود الذي يبذله كل من أجزائها للاقتراب من كل من أجزاء الكرة الأعلى(١٤٥).

يعتمد النظام الفلكي للبطروجي، إذن، على أن كرة النجوم الثابتة هي الأسرع وعلى أن كرة القمر هي الأبطأ. وليس في هذا التصور أية أصالة. فلقد نسب لوكريس (Lucrèce) أفكاراً مماثلة إلى ديموقريطس، وكذلك نسب اسكندر الأفروديسي أفكاراً مماثلة إلى الفيثاغوريين. ومن جهة أخرى، يقول مارتيانوس كابللا(١٤٦) ان المشائين كانوا يعتقدون بأن الكواكب لا تتحرك في اتجاه معاكس لحركة الكرة السماوية، لكن هذه الكرة تتجاوز الكواكب لأنها تتحرك بسرعة لا يمكن للكرات الكوكبية إدراكها. ونعود فنجد مجدداً الأفكار نفسها عند ثيون الإسكندري وعند ابن رشد. إن حركة الكرة التاسعة المذكورة، تنتقل أيضاً إلى عالم ماتحت القمر حيث ينتج عنها في كرة النار، ظهور النيازك؛ أما في كرة الماء فينتج عنها الموج وحركات المد والجزر. ونظرية البطروجي هذه في المد والجزر، مذكورة في **كتاب المد والجزر** المنسوب لابن الزيات التديلي (المتوفى عام ١٢٣٠م)، الذي نجد فيه أيضاً دراسة معمقة حول الدورات اليومية والشهرية والسنوية للمد والجزر(١٤٧).

لقد ركزنا إلى الآن على الأساس الفيزيائي لنظام البطروجي الفلكي. ولا نستطيع أن نتوسع هنا في تفاصيل نماذجه عن الشمس والقمر والنجوم الثابتة والكواكب. ونكتفي بالملاحظة الإجمالية بأن هذه النماذج موحدة المركز، حيث تتحرك الكواكب على طرف محور يتقدم بدوره على فلك تدوير يوجد مركزه على فلك حامل قطبي (طرف المحور يرسم قوساً دائرياً قيمته 90°). وهنا نجد استخداماً منهجياً لمعطيات بطلميوس الهندسية، لكن، مع وضع الأفلاك الحاملة المختلفة المراكز، وأفلاك التدوير، حول قطب الكون. وقد استعمل الزرقالي حلولاً مشابهة في نماذجه الهندسية المخصصة لشرح تغيرات انحراف دائرة

---

(١٤٥) انظر: Samsó, «Tres notas sobre astronomía hispánica en el siglo XIII,» pp. 167 - 179.

(١٤٦) Martianus Capella, *De nuptiis*, chap. 8, p. 853.

(١٤٧) النشرة والترجمة الاسبانية لـ: L. Martínez, «El *Kitāb al-madd wa-l-ŷazr* de Ibn al-Zayyāt,» in: Vernet, éd., *Textos y Estudios sobre Astronomía Española en el siglo XIII*, pp. 111-173.

انظر أيضاً: L. Martínez, «Teorías sobre las mareas según un manuscrito árabe del siglo XII,» *Memorias de la Real Academia de Buenas Letras*, vol. 13 (1971 - 1975), pp. 135 - 212.

الكسوف. وتعتبر نماذج البطروجي، بالإجمال، عبقرية، لكن لم يكن بإمكانها أن تدرك الدقة التي توصلت إليها النماذج التي استخدمت ضمن التقليد البطلمي. ومن جهة أخرى، لم يتوصل أحد إلى احتساب جداول بواسطة هذه النماذج الجديدة. فلم يكن نظام البطروجي منسجماً دائماً مع المبادىء التي وضع من أجلها، لأنه كان نظاماً وصفياً صرفاً. لذلك نراه قد نال نجاحاً كبيراً عند الفلاسفة المدرسيين(١٤٨)، بينما لم يأخذه الفلكيون على محمل الجد.

ويبقى أن نشير إلى نقطة أخيرة. فلقد رأينا أنه على الرغم من التأثير الجدي لأرسطو على كتاب البطروجي كتاب في الهيئة، فإن المبادىء الفيزيائية التي اعتمدها لم تكن دائماً متوافقة مع هذا الفيلسوف التقليدي؛ ولقد استطعنا أن نتبين فيه تأثيرات علم الحركة النيوأفلاطوني. إن هذا الأمر قد يعود الى التأثير غير المباشر لابن باجه الذي يمثل في الأندلس هذه الفيزياء «الجديدة» في مواجهة ابن رشد المدافع الأكبر عن الأرسطوطالية التقليدية. ويبدو أن ابن باجه كان على علم بمؤلفات جان فيليبون عبر دحض الفارابي له، أو عبر تأثير أبي البركات البغدادي. وأفكار ابن باجه هامة على عدة صعد. فهو يهتم بالحركة التي يحدثها المغناطيس، وكذلك بتنقل الأجسام على مستوٍ مائل، ويعبر عن حس علمي في تصوره للقوة الدافعة، حيث نجد بعض التشابه مع مفهوم القصور الذاتي في الفيزياء النيوتنية. ولئن بدا ابن باجه غير قابلٍ بنظرية «الميل»، ومنحازاً إلى أفكار أرسطو فيما يتعلق بـ «الحركات القسرية»، إلا أنه يدافع ـ ضد أرسطو ـ عن احتمال «حركة طبيعية» في الفراغ، ذلك لأنه يقبل بـ«الصيغة الطرحية» (Formule soustractive) التي تحكم سقوط الأجسام:

$$V = P - M$$

حيث V هي سرعة السقوط وP هي القوة الدافعة التي تتعلق بالوزن أو بالثقل النوعي للجسم وM هي مقاومة الوسط التي تتعلق بدورها بثقله النوعي أو بكثافته. وانسجاماً مع هذا التصور، يكون لدينا في الفراغ: $M = 0$، وبالتالي يكون $V = P$، فتكون سرعة السقوط بالتالي هي «السرعة الطبيعية» للجسم، التي تتعلق بشكل أو بآخر بثقله النوعي.

ومن جهة أخرى، لكي يشرح نظريته حول سقوط الأجسام يلمح ابن رشد إلى حركة الأجرام السماوية في الفضاء الفارغ حيث تتحرك هذه الأجرام بسرعة متناهية (محدودة).

---

(١٤٨) انظر: A. Cortabarria Beitia, «Deux sources de S. Albert le Grand: Al-Biṭrūjī e al-Battānī,» *Mélanges du l'institut dominicain d'études orientales du Caire,* vol. 15 (1982), pp. 31 - 52, et R. S. Avi - Yonah, «Ptolemy vs. al-Bitruji: A Study of Scientific Decision-Making in the Middle Ages,» *Archives internationales d'histoire des sciences,* vol. 35 (1985), pp. 124 - 147.
انظر أيضاً: Nūr al-Din Abū Isḥāḳ al-Bitrūjī, *De motibus celorum,* critical edition of the latin translation of Michael Scot; edited by Francis J. Carmody (Berkeley, Calif.: University of California Press, 1952).

وهذا يدل على أن فيلسوفنا يتصور علماً (واحداً) للحركة يمكن تطبيقه على العالم تحت القمري كما على العالم فوق القمري خلافاً للنظرية الأرسطوطالية التي تتصور علمين للحركة.

ولقد انتشرت هذه التعاليم في أوروبا القرون الوسطى عن طريق دحضها الذي قام به ابن رشد، وقد أثرت على أفكار توما الاكويني (Thomas d'Aquin) ودنز سكوت (Duns Scot) وغيرهما من الفلاسفة المدرسيين (scolastiques). ولقد وصلت أصداؤها في القرن السادس عشر إلى كتاب إيطاليين من أمثال بِنِدِتّي (Benedetti) وبورّو (Borro)، سلفي غاليليوس. والمعروف أن هذا العالم، في المرحلة من حياته المعروفة بالفترة البيزية (نسبة إلى مدينة بيزا)، تبنى الصيغة الطرحية، مدخلاً بكل وضوح أن P وM هما الثقلان النوعيان للجسم وللوسط. إن النتيجة الفورية لهذه الأفكار هي أن جسمين مختلفي الحجم لهما الثقل النوعي نفسه، يسقطان بالسرعة نفسها. وهذه هي بالضبط الفرضية التي أثبتتها (على حد اعتقاده (المترجم)) التجربة المشهورة التي قام بها عند البرج المائل[(١٤٩)].

خامساً: الانحطاط (القرن الثالث عشر ـ القرن الخامس عشر)

بعد سقوط حكم الموحدين اقتصرت إسبانيا المسلمة على مملكة غرناطة النصرية (١٢٣٢ ـ ١٤٩٢م)[(١٥٠)]. وبدأت ترتسم بمزيد من الوضوح مظاهر الانحطاط التي بدأت في المرحلة السابقة. والعلماء المسلمون الذين أضحوا في أرض احتلها المسيحيون عبروا الحدود، عامة، ليستقروا إما في غرناطة أو في أفريقيا الشمالية أو في الشرق. وقد حصل ذلك على الرغم من السياسة التي اعتمدها ألفونس العاشر (١٢٥٢ ـ ١٢٨٤م) لاجتذاب رجال العلم المسلمين بعد احتلاله مرسيه (Murcie) عام ١٢٦٦م. ويقول ابن الخطيب ان الملك قدم مكافآت هامة لرجال العلم الذين يعتنقون المسيحية، ومنهم من قبل بذلك مثل برناردو العربي (Bernardo el Arabigo)، الذي ساعد على مراجعة الترجمة القشتالية لرسالة الزرقالي حول **الصفيحة** *(azafea)* التي جرت في برغوس عام ١٢٧٨م. أما الطبيب والرياضي الذي يفوقه كثيراً مكانة وأهمية وهو محمد الرقوتي، فقد رفض العرض الملكي

---

(١٤٩) انظر: Shlomo Pines, «La Dynamique d'Ibn Bājja,» dans: *Mélanges Alexandre Koyré,* histoire de la pensée; 12 - 13, 2 vols. (Paris: Hermann, 1964), vol. 1: *L'Aventure de la science,* pp.442 - 468; Ernest A. Moody, «Galileo and Avempace: The Dynamics of the Leaning Tower Experiment,» *Journal for the History of Ideas,* vol. 12, no. 2 (April 1951), pp. 163 - 193 and 375-442, and Edward Grant, «Aristotle, Philoponus, Avempace and Galileo's Pisan Dynamics,» *Centaurus,* vol. 11, no. 2 (1965), pp. 79 - 95.

(١٥٠) حول لمحة عن تطور العلوم والطب، انظر: Rachel Arié, *L'Espagne musulmane au temps des Nasrides (1232 - 1492)* (Paris: Boccard, 1973), pp. 428 - 438.

وذهب إلى غرناطة التي كان يحكمها محمد الثاني[١٥١]. لذلك فلا يوجد تطور علمي مسلم في اسبانيا المسيحية على الرغم من أنه بالإمكان إيجاد استثناءات أحياناً.

ففي النصف الثاني للقرن الخامس عشر وجدت في سرقسطة «مدرسة» كان بإمكان الطالب أن يتعلم فيها الطب قارئاً، باللغة العربية بالطبع، **الأرجوزة في الطب** وكتاب **القانون** لابن سينا[١٥٢]. ومن جهة أخرى، فعلى الرغم من الحد من الحريات، يؤكد بعض المراجع وجود نوع من حرية الحركة للمسلمين، على الأقل في منطقة بلنسية. فلقد كان البعض يسافر إلى غرناطة أو يقطع جبل طارق طلباً للحج أو سعياً وراء العلم. كما أن بعض المسافرين المسلمين أتوا إلى بلنسية قادمين من غرناطة أو من شمال افريقيا[١٥٣].

ولقد كان لهذه الرحلات أحياناً بعض التأثير في مجال العلوم. فلقد أدخل فقيه من باترنا في العام ١٤٥٠م آلة فلكية (Sexagenarium) إلى بلنسية كانت تستعمل من قبل الفلكيين في القاهرة. وهذه الآلة هي جهاز ينتمي إلى عائلة «الصفائح الجامعة لتقويم الكواكب» له «جانب كوكبي» (يعطي الحركات المتوسطة للكواكب) و«جانب مثلثاتي» (نسبة إلى علم المثلثات) يحتوي على ربعية للجيوب (sinus)، يمكن بواسطتها أن تحل بيانياً مسائل علم المثلثات التي بإمكانها أن تحدد معادلات الكواكب. والرسالة التي تصف هذا الجهاز كانت موضوعاً للترجمات الكتالانية والإيطالية واللاتينية، وتعتبر هذه الرسالة إحدى أخريات الحالات المعروفة عن انتقال العلم العربي عبر إسبانيا[١٥٤].

غير أن رجال العلم، كما سبق وأشرنا، كانوا غالباً يفضلون اجتياز الحدود إلى خارج المناطق المحتلة. ففي القرن الثالث عشر هاجر عالم العقاقير المشهور ابن البيطار إلى المغرب ثم إلى مصر، وأخيراً إلى دمشق، حيث توفي عام ١٢٤٨م. أما الفلكي محيي الدين المغربي، فيحتمل أنه من أصل أندلسي لكنه عمل في سوريا، ومن ثم في مرصد مراغة. وهناك حالة ثالثة ملفتة للنظر هي حالة الرياضي «القلصادي» المولود في باجه (Baza) في العام ١٤١٢م والمتوفى في تونس عام ١٤٨٦م. وهناك أيضاً رجال العلم الذين بقوا في غرناطة خيارهم الأندلسي الوحيد المتبقي. ولقد قدم بعض الحكام لهؤلاء أجواءً مؤاتية، ونذكر على سبيل المثال أن محمد الثاني (١٢٧٣ ـ ١٣٠٢م) اجتذب الى بلاطه العالم الرقوتي الذي

---

(١٥١) انظر: Julio Samsó, «Dos colaboradores científicos musulmanes de Alfonso X,» *Llull*, vol. 4 (1981), pp. 171 - 179.

(١٥٢) انظر: Ribera, «La Enseñanza entre los musulmanes españoles,» vol. 1, pp. 229 - 359.

(١٥٣) انظر: M. C. Barceló, *Minorías islámicas en el país valenciano: Historia y dialecto* (Valencia: [n. pb.], 1984), especially pp. 102 - 104.

(١٥٤) انظر: Lynn Thorndike, «Sexagenarium,» *Isis*, vol. 42 (1951), pp. 130 - 133, and Emmanuel Poulle, «Théorie des planètes et trigonométrie au XVe siècle d'après un équatoire inédit, le sexagenarium,» *Journal des savants* (1966), pp. 129 - 161.

سبق أن أشرنا إليه والرياضي الفلكي ابن الرقام (ت ١٣١٥م) وهو من أصل أندلسي، استقر في تونس. ولقد كان الرقوتي في أساس مدرسة هامة في الطب انتهت إلى محمد الشفرة (ت ١٣٦٠م). أما ابن الرقام فقد قام بدوره بتدريس الرياضيات وعلم الفلك لأبي زكريا بن هذيل وعلّم السلطان نصر (١٣٠٩ ـ ١٣١٤م) احتساب التقاويم، كما علّمه بناء الأدوات الفلكية. ومن بين الأمراء المشهورين يجب التنويه أيضاً بيوسف أخي محمد الثاني الذي كان من كبار المولعين بالكتب الرياضية والفلكية، لكنه كان يجد نفسه مضطراً لإخفاء هذه الاهتمامات عن أبيه محمد الأول (١٢٣٧ ـ ١٢٧٣م) الذي لم يكن يستحسنها(١٥٥).

ومن ناحية أخرى، فإن التطور العلمي الناشىء في إسبانيا القرن الثالث عشر المسيحية، كانت له، على ما يبدو، انعكاسات في غرناطة النصرية. فلدينا بعض ما يشير إلى الظاهرة التي سماها غارسيا بالستر «ارتداد النزعة المدرسية» (Reflux de la scolastique)(١٥٦). وهذه الظاهرة تمثلت في أن ثقافة علمية معدة في إسبانيا المسيحية استندت منذ بداية القرون الوسطى على قواعد علمية أتت من العالم العربي، قد أدخلت إلى إسبانيا المسلمة. هذه الحركة التي سيكون لها نتائج هامة في افريقيا الشمالية فيما بعد، يبدو أنها انطلقت منذ بداية القرن الثالث عشر. وفي هذا المجال نستطيع التنويه بمحمد بن الحاج (المتوفى عام ١٣١٤م)، المولود في إشبيلية المسيحية، الذي يمدح ابن الخطيب معارفه باللغة وبالثقافة «الرومية». وهذا الوجه العلمي، أو أبوه(١٥٧)، وهو نجار «مدجن» من إشبيلية، هو الذي بنى ناعورة فاس الكبرى: «الجديدة»، للسلطان المريني(١٥٨) «أبي يوسف» (١٢٥٨ ـ ١٢٨٦م). وقد أثارت هذه الناعورة انتباه ليون الأفريقي الذي يصفها مشيراً إلى أنها لا تدور سوى ٢٤ مرة في اليوم الواحد؛ ولو صحت هذه الرواية، فقد ينبغي التفكير بإمكانية وجود ساعة تسير بواسطة حركة الناعورة، مثل تلك التي كان قد بناها في الصين سو ـ سنغ في القرن الحادي عشر. وعند وفاة أبي يوسف، عاد ابن الحاج إلى غرناطة حيث استقبل جيداً في بلاط محمد.

وهناك حالة ثانية، أشد أهمية تتمثل بالجراح محمد الشفرة (توفي في العام ١٣٦٠م)

---

(١٥٥) الإحاطة لابن الخطيب وهي المصدر الأهم من بين المصادر ذات الطابع العام. والمعطيات العلمية لهذا المصدر كشفها وحللها: Roser Puig: «Dos notas sobre ciencia hispano - árabe a finales del siglo XIII en la *Iḥāta* de Ibn al-Jaṭīb,» *Al-Qanṭara*, vol. 4 (1983), pp. 433 - 440, and «Ciencia y técnica en la *Iḥāta* de Ibn al-Jaṭīb: Siglos XIII y XIV,» *Dynamis*, vol. 4 (1984), pp. 65 - 79.

(١٥٦) انظر: García Ballester, *Historia social de la medicina en la España de los siglos XIII al XVI*, pp. 21 ff.

(١٥٧) إن نص ابن الخطيب ليس واضحاً بالشكل الكافي. انظر شرحي: Georges S. Colin, «L'Origine des norias de Fès,» *Hespéris*, vol. 16 (1933), pp. 156 - 157, et Puig, «Dos notas sobre ciencia hispano - árabe a finales del siglo XIII en la *Iḥāta* de Ibn al-Jaṭīb,» pp. 433 - 440.

(١٥٨) نسبة إلى بني مرين.

المولود في كريفيلانت (اللقنت ـ (Alicante)) عندما غدت هذه المدينة تحت الحكم الإسباني، الذي درس الجراحة «على عدد من أمهر الذين مارسوا هذا الفن اليدوي وكانوا من الإسبان»، ومن بين هؤلاء، نجد المعروف بالمعلم برنات (أو بزناد أو بزند) البلنسي(١٥٩).

إن المثل الأكثر دلالة على هذا «الارتداد» يتعلق بالتأثير الاسباني الغربي المحتمل في أصول ما سمي في الأندلس بـ «المدرسة»، حتى وإن كان هذا التأثير محض فرضية. فحسب رواية ابن الخطيب، إن ألفونس العاشر عندما التقى العالم الرقوتي في مرسيه (Murcie)، بنى له «مدرسة» لكي يعلم فيها الطلاب. ولقد أعيد تطبيق الفكرة نفسها، من قبل محمد الثاني، الذي قدم، أيضاً للرقوتي، الوسائل المادية لتنظيم تدريسه في غرناطة. ومن جهة أخرى، احتفل ألفونس العاشر في العام ١٢٥٤م بإنشاء مؤسسة تدريسية عامة (Studium générale) في إشبيلية. ومن بين شهود الاحتفال يذكر حضور الملك محمد الأول ملك غرناطة. كل هذه الأمور تشكل سلسلة أحداث، تقودنا في العام ١٣٤٩م إلى تأسيس «المدرسة اليوسفية النصرية» أو «العلمية» في غرناطة من قبل «الحاجب» رضوان، وهو شخصية علمية من أصل إسباني(١٦٠)؛ ويحتمل أن تكون المدرسة المذكورة، أولى المؤسسات المكرسة لتعليم العلوم في الأندلس، لأننا نعلم أن الطب قد دُرِّس فيها. ونستطيع بالطبع، التفكير بوجود تأثير مغربي في هذا الاتجاه، ذلك لأن أول «مدرسة» تأسست في المغرب كانت في جامع القرويين في فاس عام ١٢٧١م، لكن بالإمكان الإبقاء على إمكانية تأثير الممارسة الإسبانية في هذا المجال.

وفي هذه الأجواء يطرح سؤال حول نوعية المواد العلمية التي درست في غرناطة. أول جواب عن هذا السؤال تقدمه لنا معطيات كتاب **الإحاطة في أخبار غرناطة** لابن الخطيب، هذه المعطيات التي كشف عنها ر. بويغ (R. Puig). ففي هذا الكتاب يذكر ابن الخطيب ٤٧ شخصية عرف اهتمامها بالعلم في القرنين الثالث عشر والرابع عشر في مملكة بني نصر. ومن خلال السير الـ ٤٧ المذكورة هذه، نرى أن عدد الذين اهتموا منهم بالطب يأتي بالدرجة الأولى، يليه عدد الرياضيين، ومن ثم عدد الفلكيين. إن هذا الإحصاء يتوافق جيداً مع الواقع. ولن نتحدث هنا عن الطب. وفي مجال العلوم الزراعية وعلم النبات نذكر اسمي ابن البيطار (١١٩٧ ـ ١٢٨٤م) وابن ليون (١٢٨٢ ـ ١٣٤٩م). فلقد بلغ الأول الذروة في علم العقاقير الأندلسي الذي ما انفك يتطور منذ القرن العاشر. فكتابه **الجامع لمفردات الأدوية والأغذية** هو المؤلف الأكمل في علم النبات التطبيقي في شبه

---

(١٥٩) انظر: H. P. J. Renaud, «Un chirurgien musulman du royaume de Grenade: Muḥammad Aš - Šafra,» *Hespéris*, vol. 20, fascicules I - II (1935), pp. 1 - 20.

(١٦٠) انظر: L. Seco de Lucena Paredes, «El ḥāŷib Riḍwān, la madraza de Granada y las murallas del Albayzín,» *Al-Andalus*, vol. 21 (1956), pp. 285 - 296.

الجزيرة الإيبيرية في القرون الوسطى(١٦١). فهو يصف فيه ثلاثة آلاف صنفٍ من الأعشاب الطبية أدرجها حسب الترتيب الأبجدي لأسمائها واستقى معلوماته حولها من مئة وخمسين كاتباً منذ ديوسقوريدس وحتى الغافقي وأبي العباس النبطي. كما نجد فيه ملاحظات وتأملات شخصية قام بها الكاتب، لكنها تعتبر ضئيلة إذا ما قيست بالمعلومات التي جمعت في هذا الكتاب. فابن البيطار يقع، إذن، في قمة تطور هذا العلم وفي بداية الانحطاط في الوقت نفسه. ولكننا لا نستطيع أن نصف الشخصية الثانية التي ذكرناها (ابن ليون) بالصفة نفسها، ذلك لأن دور ابن البيطار في مجال علم الزراعة يمكن مقارنته بدور ابن العوام في القرن السابق: فطالما أن تركيباً وتجميعاً كبيراً للمعلومات قد حصلا، لذلك أصبح العمل التلخيصي مطلوباً؛ وهذا ما قام به ابن ليون عندما كتب الأرجوزة الزراعية التي ليست سوى موجز زراعي في أشعار، دون فائدة كبرى تستحق التوقف عندها(١٦٢).

وفي الرياضيات، ليس لدينا سوى اسمين نذكرهما. الأول هو اسم ابن بدر، الذي لا يوجد ما يدل بدقة على تاريخ ولادته أو مماته، إنما يبدو أنه عاش في القرن الثاني عشر أو الثالث عشر. وهو مؤلف «رسالة في الجبر العام» تهتم بحل المسائل غير المحددة(١٦٣) («السيّالة» (المترجم)). أما الاسم الثاني فهو اسم «القلصادي» (حوالى ١٤١٢ ـ ١٤٨٦م) الذي كتب في مواضيع متنوعة، وتفوق أعماله كثيراً أعمال ابن بدر. إن ما يهمنا من أعمال هذا العالم هو ما كتبه في علم الحساب والجبر وفي تقسيم الميراث («علم الفرائض»)، ونشير إلى أن المجموعة الكاملة لمؤلفاته غير معروفة حتى الآن. إن «رحلته» لأداء فريضة الحج سمحت له بالقيام بدراسات في تلمسان ووهران وتونس وكذلك في الشرق. وهذا ما يفسر تأثره بأعمال الرياضي المراكشي ابن البناء (المتوفى عام ١٣٢١م) واستعماله رموزاً جبرية كان قد استعملها عدد من الرياضيين الشرقيين كما كان قد استعملها في المغرب، يعقوب بن أيوب (حوالى ١٣٥٠م) وفي الجزائر ابن قنفذ (ت ١٤٠٧م)(١٦٤).

---

(١٦١) انظر الترجمة الفرنسية للُكْلِرك (L. Leclerc) في: *Notices et extraits des manuscrits de la bibliothèque nationale* (Paris: [s. n.], 1877 - 1883), vol. 23 et 25 - 26.

(١٦٢) انظر التحقيق والترجمة الاسبانية التي قام بها: Ibn Luyūn, *Tratado de Agricultura,* édition et traduction espagnole de J. Eguaras (Grenade: [s. n.], 1975).

(١٦٣) انـظـر: Abenbéder, *Compendio de Algebra de Abenbéder,* texto árabe, traducción y estudio por José A. Sánchez Pérez (Madrid: [n. pb.], 1916).

(١٦٤) انظر: H. P. J. Renaud, «Notes critiques d'histoire des sciences chez les musulmans. IV. Sur un passage d'Ibn Khaldûn relatif à l'histoire des mathématiques,» *Hespéris,* vol. 31, fascicule unique (1944), pp. 35 - 47.

وحول القلصادي، انظر: «Qalaṣādī,» in: *Dictionary of Scientific Biography,* vol. 11, pp. 229 - 230, and M. Souissi, «Un mathématicien tuniso - andalou: Al: Qalaṣādī,» paper presented at: *Actas del II Coloquio Hispano - Tunecino de Estudios Históricos* (Madrid: [n. pb.], 1973), pp.147-169.

وفي مجال علم الفلك يجب أن نشير مرة أخرى إلى اهتمام الأندلسيين بصناعة الأجهزة الفلكية، وإلى أن اتصالهم بالشرق بقي مستمراً، حتى في هذه المرحلة من عصر الانحطاط. وهكذا فإننا نجد أن ابن أرقم النميري (توفي ١٢٥٩م) قد كتب عن **الأسطرلاب الخطي** وهو جهاز قام بصنعه صانع الأسطرلابات الفارسي شرف الدين الطوسي (المتوفى عام ١٢١٣م)[١٦٥]. وابن الأرقم نفسه كان كاتب الرسالة الأولى من سلسلة من الرسائل التي تناولت علم الخيل، إحدى «صرعات» ذلك العصر في غرناطة النصرية[١٦٦].

ومن جهة أخرى، كتب المدعو حسين بن أحمد بن باص (أو ماص) الإسلامي، عام ١٢٧٤، رسالة طويلة حول اللوحة الشاملة، أي تلك التي تصلح لجميع خطوط العرض («الجميع العروض») والتي يمكن تصنيفها ضمن نمط «صفيحة» الزرقالي والتي توافق أيضاً تقليد «الصفيحة الآفاقية» التي تحمل اللوحات فيها إسقاط عدة آفاق. ويحتمل أن يكون هذا الفلكي هو نفسه حسن بن محمد بن باصو (المتوفى عام ١٣١٦م) الذي أصبح رئيس الموقتين في جامع غرناطة الكبير، وكان ابنه حسن أيضاً موقتاً في الجامع نفسه. ويمدح ابن الخطيب الأب وابنه مشيداً بمهارتهما في صناعة الأدوات الفلكية وخاصة المزاول (الساعات الشمسية)[١٦٧]. إن هذه المعطيات هامة لسببين: السبب **الأول** هو في كونها تشكل الشهادة الأولى على وجود الموقتين في الجوامع الأندلسية. والسبب **الثاني** هو الإعجاب الذي يبديه ابن الخطيب بخصوص المزاول التي صنعها ابن باصو. وهذا الإعجاب يثير الدهشة نظراً للفقر الذي عرفته صناعة هذا النوع من الأجهزة، حسب

---

(١٦٥) انظر: Roser Puig, «Ibn Arqam al - Numayrī (m. 1259) y la introducción en al-Andalus del astrolabio lineal,» in: Vernet, éd., *Nuevos Estudios sobre Astronomía Española en el siglo de Alfonso X*, pp. 101 - 103.

(١٦٦) انظر: Georges S. Colin, «Un nouveau traité grenadin d'hippologie,» *Islamica*, vol. 6 (1934), pp. 332-337.

ومن أجل مصادر أكثر حداثة، انظر: Arié, *L'Espagne musulmane au temps des Naṣrides (1232 - 1492)*, et 'Ali Ibn 'Abd al-Raḥmān Ibn Hudhayl al-Andalusī, *Gala de caballeros, balsón de paladines*, edición preparada por María Jesús Viguera, Biblioteca de la literatura y el pensamiento hispánicos; 24 (Madrid: Editora Nacional, [°1977]).

(١٦٧) انظر: Renaud, «Notes critiques d'histoire des sciences chez les musulmans. I. Les Ibn Bāṣo,» pp. 1 - 12; Julio Samsó, «A Propos de quelques manuscrits astronomiques des bibliothèques de Tunis: Contribution à une histoire de l'astrolabe dans l'Espagne musulmane,» paper presented at: *Actas del II Coloquio Hispano - Tunecino de Estudios Históricos*, pp. 171 - 190, and E. Calvo, «La Lámina universal de 'Alī b. Jalaf (s. XI) en la versión alfonsí y su evolución en instrumentos posteriores», «Ochava Espera» y «Astrofísica,» in: *Textos y Estudios sobre las Fuentes Arabes de la Astronomía de Alfonso X* (Barcelona: [n. pb.], 1990), pp. 221 - 238.

معلوماتنا الحالية[168]. ومن المحتمل جداً أن يكون القرنان الثالث عشر والرابع عشر قد شهدا في غرناطة تجدداً مهماً في دراسة علم المزاول وتطبيقاته في صناعة الساعات الشمسية. هذه الفرضية أكدتها الدراسات التي أنجزت حديثاً حول الرسالة في علم الظلال لابن الرقام (ت ١٣١٥م) والتي تظهر الكفاءة العالية التي يطبقها الرياضيون والفلكيون على دراسة الساعات الشمسية باستخدام طرق تسطيح الكرة، التي لم تكن معروفة من قبل في الأندلس[169]. ولقد ألف ابن الرقام نفسه جداول فلكية[170] تابعاً فيها نهج الزرقالي وابن الهائم. إن هذه الجداول لم تدرس حتى الآن، لكن الدلائل تشير إلى أن أبحاثاً معمقة حول هذا الفلكي، يحتمل أن تجعل منه الوجه الأبرز في العلم النصري.

لكن ابن الرقام يشكل حالة استثنائية. فلقد بلغ العلم الأندلسي ذروته في القرن الحادي عشر واستمر بتقديم نتائج مرموقة حتى القرن الثاني عشر، لكنه لم يصمد بوجه الانحطاط السياسي والاحتضار الطويل للنصريين الغرناطيين. ولقد فهم القلصادي هذا الواقع (كما وعاه كثير من رجال العلم منذ القرن الثالث عشر) فرحل إلى افريقيا قبل الأزمة النهائية، وبعد وفاته سنة ١٤٨٦م بست سنوات، انتهى مجمل النشاط الثقافي العربي في الأندلس.

---

(١٦٨) انظر: King, «Three Sundials from Islamic Andalusia,» pp. 358 - 392.

(١٦٩) انظر: J. Carandell: «An Analemma for the Determination of the Azimuth of the *Qibla* in the *Risāla fī 'ilm al-ẓilāl* of Ibn al-Raqqām,» *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften,* Bd. 1 (1984), pp. 61 - 72; «Trazado de las curvas de oración en los cuadrantes horizontales en la *Risāla fī 'ilm al-ẓilāl* de Ibn al-Raqqām,» *Dynamis,* vol. 4 (1984), pp. 23 - 32, and *Risāla fī 'ilm al-ẓilāl de Muḥammad Ibn al-Raqqām al-Andalusī* (Barcelona: [n. pb.], 1988).

(١٧٠) انظر: Vernet, «La Supervivencia de la astronomía de Ibn al-Bannā,» pp. 447 - 451.

المراجع

١ ـ العربية

كتب

ابن جلجل، أبو داود سليمان بن حسان. **طبقات الأطباء والحكماء**. تحقيق فؤاد سيد. القاهرة: المعهد العلمي الفرنسي للآثار الشرقية، ١٩٥٥. (مطبوعات المعهد العلمي الفرنسي للآثار الشرقية بالقاهرة، نصوص وترجمات؛ ١٠)

ابن حجاج الإشبيلي، أبو عمر أحمد بن محمد. **المقنع في الفلاحة**. تحقيق صلاح جرار وجاسر أبو صفية؛ تدقيق وإشراف عبد العزيز الدوري. عمّان: مجمع اللغة العربية الأردني، ١٩٨٢.

ابن حيان. **المقتبس من أنباء أهل الأندلس**. تحقيق م. علي مكي. بيروت: [د. ن.]، ١٩٧٣.

ابن ماجد، شهاب الدين أحمد بن أبي الركائب. **الحاوية**. تحقيق وتقديم إبراهيم خوري. دمشق: نشرة الدراسات الشرقية، ١٩٧١.

———. **كتاب الفوائد في أصول علم البحر والقواعد**. تحقيق إبراهيم خوري وعزة حسن. دمشق: مطبوعات مجمع اللغة العربية، ١٩٧١. (العلوم البحرية عند العرب، ج ١، ق ٢)

ابن ماجد، شهاب الدين أحمد بن ماجد بن محمد السعدي. **ثلاث أزهار في معرفة البحار**. تحقيق ونشر تيودور شوموفسكي؛ ترجمة وتعليق محمد منير مرسي. القاهرة: عالم الكتب، ١٩٦٩.

ابن الهيثم، أبو علي محمد بن الحسن. **الشكوك على بطليموس**. تحقيق عبد الحميد صبره ونبيل الشهابي؛ تصدير إبراهيم مدكور. القاهرة: مطبعة دار الكتب، ١٩٧١.

أروسيوس، باولوس. **تاريخ العالم**. تحقيق عبد الرحمن بدوي. بيروت: [د. ن.]، ١٩٨٢.

البيروني، أبو الريحان محمد بن أحمد. **القانون المسعودي**. صحح عن النسخ القديمة الموجودة في المكاتب الشهيرة، تحت إعانة وزارة معارف الحكومة العالية الهندية. حيدر آباد الدكن: مطبعة مجلس دائرة المعارف العثمانية، ١٩٥٤ ـ ١٩٥٦. ٣ ج.

———. **كتاب في تحقيق ما للهند**. حيدر آباد الدكن: [د. ن.]، ١٩٥٨.

راشد، رشدي. **تاريخ الرياضيات العربية بين الجبر والحساب**. ترجمة حسين زين الدين. بيروت: مركز دراسات الوحدة العربية، ١٩٨٩. (سلسلة تاريخ العلوم عند العرب؛ ١)

شهاب، حسن صالح. **الدليل البحري عند العرب**. الكويت: مجلة دراسات الخليج والجزيرة العربية، ١٩٨٣.

———. **طرق الملاحة التقليدية في الخليج العربي**. الكويت: [د. ن.]، ١٩٨٤.

———. **فن الملاحة عند العرب**. بيروت: دار العودة؛ صنعاء: مركز الدراسات والبحوث اليمني، ١٩٨٢.

الصوفي، عبد الرحمن بن عمر. **كتاب صور الكواكب الثمانية والأربعين**. حيدر آباد الدكن: جمعية دائرة المعارف العثمانية، ١٩٥٣. أعيد طبعه في: بيروت: دار الآفاق الجديدة، ١٩٨١.

العرضي، مؤيد الدين. **تاريخ علم الفلك العربي، مؤيد الدين العرضي (المتوفى سنة ٦٦٤هـ ـ ١٢٦٦م): كتاب الهيئة**. بيروت: مركز دراسات الوحدة العربية، ١٩٩٠. (سلسلة تاريخ العلوم عند العرب؛ ٢)

عيسى، محمد عبد الحميد. **تاريخ التعليم في الأندلس**. القاهرة: دار الفكر العربي، ١٩٨٢.

الفرغاني. **كتاب في الحركات السماوية وجوامع علم النجوم**. نشر النص العربي Golius. [امستردام: د. ن.، ١٦٦٩].

القفطي، أبو الحسن علي بن يوسف. **تاريخ الحكماء: وهو مختصر الزوزني المسمى بالمنتخبات الملتقطات من كتاب إخبار العلماء بأخبار الحكماء**. تحقيق يوليوس ليبرت. ليبزيغ: ديتريخ، ١٩٠٣.

الكندي، أبو يوسف يعقوب بن اسحق. **كتاب في الصناعة العظمى**. تحقيق ونشر عزمي طه السيد أحمد. قبرص: دار الشباب، ١٩٨٧.

المقري، أبو العباس أحمد بن محمد. **نفح الطيب من غصن الأندلس الرطيب**. تحقيق إحسان عباس. بيروت: دار صادر، ١٩٦٨. ٨ ج.

المهري، سليمان بن أحمد بن سليمان. **رسالة قلادة الشموس واستخراج قواعد الأسوس. تحفة الفحول في تمهيد الأصول في أصول علم البحر. كتاب شرح تحفة الفحول في تمهيد الأصول في أصول علم البحر.** تحقيق إبراهيم خوري. دمشق: مطبوعات مجمع اللغة العربية؛ المطبعة التعاونية، ١٩٧٢. (العلوم البحرية عند العرب، تحقيق وتحليل، القسم ١)

———. **العمدة المهرية في ضبط العلوم البحرية.** تحقيق إبراهيم خوري. دمشق: مطبوعات مجمع اللغة العربية؛ المطبعة التعاونية، ١٩٧٠. (العلوم البحرية عند العرب، تحقيق وتحليل، القسم ١)

———. **المنهاج الفاخر في علم البحر الزاخر.** تحقيق ابراهيم خوري. دمشق: مطبوعات مجمع اللغة العربية؛ المطبعة التعاونية، ١٩٧٠. (العلوم البحرية عند العرب، تحقيق وتحليل، القسم ١)

نالينو، كارلو ألفونسو. **علم الفلك: تاريخه عند العرب في القرون الوسطى.** روما: مطبعة روما، ١٩١١.

دوريات

شوكت، إبراهيم. «خرائط جغرافيي العرب الأُول.» **مجلة الأستاذ** (بغداد): السنة ٢، ١٩٦٢.

٢ ـ الأجنبية

Books

Abenbéder. *Compendio de Algebra de Abenbéder.* Texto árabe, traducción y estudio por José A. Sánchez Pérez. Madrid: [n. pb.], 1916.

Abraham bar Ḥiyya ha-Nasi. *La Obra enciclopédica; yĕsodé ha-tĕbuná u-migdal haĕmuná,* de Abraham bar Hiyya ha-Bargeloní. Ed. crítica con traducción, prólogo y notas, por José Mª. Millás Vallicrosa. Madrid: [n. pb.], 1952.

———. *La Obra Séfer Ḥešbón mahlekot ha-kokabim (Libro del cálculo de los movimientos de los astros).* Ed. crítica, con traducción, introd. y notas por José Mª. Millás Vallicrosa. [Barcelona]: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto Arias Montano, 1959..

Albategnius. *Al-Battānī, sive Albatenii Opus Astronomicum (al-Zīj al-*Ṣābī'). Edition du texte arabe, traduction latine et commentaire par Carolo Alphonso Nallino. Milano: Mediolani Insubrum, Prostat apud U. Hoeplium, 1899 - 1907. (Publicazioni del Reale osservatorio di Brera in Milano, I-III). 3 vols. Réimprimé en 1 vol. Hildesheim; New York: G. Olms, 1977.

Albuquerque, Luis Guilherme Mendonça de. *Quelques commentaires sur la navigation orientale.* Paris: Arquivos do Centro Cultural, Fondation C. Gulbenkian, 1972.

Allan, J. W. *Persian Metal Technology, 700 - 1300 A.D.* London; Oxford: [n. pb.], 1979.

Altmann, Alexander (ed.). *Jewish Medieval and Renaissance Studies.* Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1967.

'Arib Ibn Sā'id al-Kātib al-Qurtubī. *Le Calendrier de Cordoue.* Publié par R. Dozy. Nouvelle édition accompagnée d'une traduction française annotée par Ch. Pellat. Leiden: E. J. Brill, 1961. (Medieval Iberian Peninsula, Texts and Studies; v. 1)

Arié, Rachel. *L'Espagne musulmane au temps des Naṣrides (1232 - 1492).* Paris: Boccard, 1973.

Asín Palacios, Miguel. *Glosario de voces romances, registradas por un botánico anónimo hispano-musulmán (siglos XI - XII).* Madrid - Granada: [n. pb.], 1943.

Bagrow, Leo. *The Vasco Gama's Pilot.* Genova: Civico Instituto Colombiano, [1951?].

Barceló, M. C. *Minorías islámicas en el país valenciano: Historia y dialecto.* Valencia: [n. pb.], 1984.

Bassermann- Jordan, Ernst von (ed.). *Die Geschichte der Zeitmessung und der Uhren.* Berlin; Leipzig: Vereinigung Wissenschaftlicher Verleger; W. De Gruyter, 1920 - 1925.

Berggren, J. L. and Bernard Raphael Goldstein (eds.). *From Ancient Omens to Statistical Mechanics: Essays on the Exact Sciences Presented to Asger Aaboe.* Copenhagen: [n. pb.], 1987.

Bianqueri, J. A. *Libro de Agricultura.* Madrid: [n. pb.], 1802. Réimprimé avec une étude de E. Garía Sánchez et J. E. Hernandez Bermejo. Madrid: [n. pb.], 1988.

Al-Bīrūnī, Abu al-Rayhan Muhammad Ibn Ahmad. *Kitāb maqālīd 'ilm al-hay'a: La Trigonométrie sphérique chez les arabes de l'est à la fin du Xe siècle.* Edition, traduction et commentaire par Marie-Thérèse Debarnot. Damas: Institut français de Damas, 1985.

———. *Taḥdīd al-amākin.* Edition critique par P. G. Bulgakov. Le Caire: Majallat al-Makhtūtāt al-'Arabiyya, 1962; English translation: *The Determination of the Coordinates of Positions for the Correction of Distances between Cities.* A translation from the arabic of al-Bīrūnī's *Kitāb taḥdīd al-amākin litashīh masāfāt al-masākin* by Jamil Ali. Beirut: American University of Beirut, 1967. (Contennial Publications/ American University of Beirut)

Al-Bīrūnī Commemoration Volume. Calcutta: Iran Society, 1951.

Al - Bitrūjī, Nūr al-Din Abū Isḥāḳ. *De motibus celorum.* Critical edition of the latin translation of Michael Scot, edited by Francis J. Carmody. Berkeley, Calif.: University of California Press, 1952.

———. *On the Principles of Astronomy.* An edition of the arabic and hebrew versions with translation, analysis, and an arabic - hebrew - english glossary by Bernard R. Goldstein. New Haven, Conn.: Yale University Press, 1971. 2 vols. (Yale Studies in the History of Science and Medicine; 7)

Björnbo, Axel Anthon and Heinrich Suter. *Thabits Werk über den Transversalensatz (Liber de figura sectore).* Erlangen: M. Mencke, 1924.

Bolens, Lucie. *Agronomes andalous du moyen âge.* Genève: Droz, 1981. (Etudes et documents/ publiés par le département d'histoire générale de la faculté des lettres de l'Université de Genève; 13)

Brice, William C. (ed.). *An Historical Atlas of Islam.* Leiden: E. J. Brill, 1981.

Brieux, A. et F. Maddison. *Répertoire des facteurs d'astrolabes et de leurs œuvres.* Avec la collaboration de Ludvig Kalus et Yūsuf Rāghib. Paris: Editions du CNRS, [sous presse]. 3 vols. 1ème partie: «Islam plus Byzance, Arménie, Géorgie et Inde».

Campano Novarese. *Campanus of Novara and Medieval Planetary Theory: Theorica Planetarum.* Edited with an introduction, english translation and commentary by Francis S. Benjamin and G. J. Toomer. Madison, Wis.: University of Wisconsin Press, 1971. (University of Wisconsin Publications in Medieval Science; 16)

Carandell, J. *Risāla fī 'ilm al-ẓilāl de Muḥammad Ibn al-Raqqām al-Andalusī.* Barcelona: [n. pb.], 1988.

——— [et al.]. *Instrumentos astronomicos en la España medieval. Su influencia en Europa. Convento de San Francisco, Santa Cruz de la Palma, junio - julio 1985.* Madrid: Ministerio de Cultura, 1985.

Carmody, Francis James. *Arabic Astronomical and Astrological Sciences in Latin Translation: A Critical Bibliography.* Berkeley, Calif.: University of California Press, 1956.

———. *The Astronomical Works of Thābit b. Qurra.* Berkeley, Calif.: University of California Press, 1960.

Chumovski, T. A. *Thalāth rāhmanajāt majhūla li Ahmad b. Mājid.* Texte arabe et traduction russe. Moscou, Leningrad: [n. pb.], 1957.

Comes, M. *Ecuatorios - andalusíes, Ibn al-Samḥ, al-Zarqālluh y Abū-l-Ṣalt.* Barcelona: [n. pb.], 1991.

Copernicus. *De Revolutionibus.* Translated by Charles Glenn Wallis. Chicago, Ill.: [n. pb.], 1952.

Cruz Hernandez, M. *Abū-l-Walīd Ibn Rushd: Vida, obra, pensamiento, influencia.* Córdoba: [n. pb.], 1986.

Dahan, Gilbert (ed.). *Les Juifs au regard de l'histoire: Mélanges en l'honneur de Bernhard Blumenkranz.* Paris: Picard, 1985.

De Astronomia Alphonsi Regis. Barcelona: [n. pb.], 1987.

Deetz, Charles Henry and Oscar S. Adams. *Elements of Map Projection with Applications to Map and Chart Construction.* 5th ed. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1945. (U.S. Coast and Geodetic Survey, Special Publication no. 68)

Dictionary of Scientific Biography. New York: Scribner, 1970 - 1990. 18 vols.

Diophante. *Les Arithmétiques.* Vols. 3 et 4, édition et traduction du texte arabe

par Roshdi Rashed. Paris: Les Belles lettres, 1984. (Collection des universités de France)

Disertaciones y Opúscolos. Madrid: [n. pb.], 1928.

Djebbar, J. «Deux mathématiciens peu connus de l'Espagne du XIe siècle: Al-Mu'taman et Ibn Sayyid.» (Paris, Université Paris-Sud, département de mathématique, 1984). (Polycopié).

Dozy, Reinhart Pieter Anne (ed. et tr.). *Description de l'Afrique et de l'Espagne*. Texte arabe pub. pour la première fois d'après les man. de Paris et d'Oxford avec une traduction, de notes et un glossaire par R. Dozy et M. J. de Goeje. Leiden: E. J. Brill, 1866. Réimprimé, Amsterdam: Oriental Press, 1969.

Dubler, César E. and E. Terès. *La «Materia Médica». de Dioscórides: Transmisión medieval y renacentista*. Barcelona: [Tipografía Emporium], 1953 - 1957. 5 vols.

Duhem, Pierre Maurice Marie. *Etudes sur Léonard de Vinci*. Paris: A. Hermann, 1906 - 1913. 3 vols.

———. *Le Système du monde: Histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*. Paris: A. Hermann, 1914-1959. 10 vols.

Encyclopedia Iranica. Edited by Ehsan Yarshater. London: Routledge and Kegan Paul, 1986-1987.

Encyclopédie de l'Islam. 2ème éd. Leiden: E. J. Brill, 1960 -. 6 vols. parus.

Estudios sobre Historia de la Ciencia árabe. Editados por Juan Vernet. Barcelona: Instituto de Filología, Institución «Milá y Fontanals», Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1980.

Etudes d'orientalisme dédiées à la mémoire de Lévi-Provençal. Paris: G. - P. Maisonneuve et Larose, 1962. 2 vols.

Al-Farghānī. *Al Farghani Differentie scientie astrorum*. Edited by Francis J. Carmody. Berkeley, Calif.: [n. pb.], 1943.

———. *Alfragano (al-Fargānī) Il 'Libro dell'aggregazione dell stelle'*. Publicato con introduzione e note da Romeo Campani. Città di Castello: S. Lapi, 1910. (Collezione di Opuscoli Danteschi inediti o rari; 87 - 90)

Ferrand, Gabriel. *L'Elément persan dans les textes nautiques arabes des XVe et XVIe siècles*. Paris: Imprimerie nationale, 1924.

——— (ed.). *Instructions nautiques et routiers arabes et portugais des XVe et XVIe siècles*. Paris: Geuthner, 1921 - 1928. 3 vols.
Tome I et II: Textes arabes.

Tome III: *Introduction à l'astronomie nautique arabe.*

Fischer, Josef. *Claudii Ptolemæi Geographiæ Codex Urbinus Græcus 82.* Leiden: E. J. Brill, 1932. 3 vols.

García Ballester, Luis. *Historia social de la medicina en la España de los siglos XIII al XVI.* Madrid: Akal, ©1976 -. (Colección Textos)
Vol. 1: *La minoría musulmana y morisca.*

———. *Los moriscos y la medicina: Un capítulo de la medicina y la ciencia marginadas en la España del siglo XVI.* Barcelona: Labor, 1984. (Labor Universitaria. Monografías)

García Sánchez, E. (éd.). *Ciencias de la Naturaleza en al-Andalus: Textos y Estudios.* Granada: [n. pb.], 1990.

Gauthier, Léon. *Ibn Rochd (Averroès).* Paris: Presses universitaires de France, 1948. (Les Grands philosophes)

Gerardus. *Theorica planetarum Gerardi.* Edited from 14 copies by Francis J. Carmody. Berkeley, Calif.: [n. pb.], 1942.

Glick, Thomas F. *Irrigation and Society in Medieval Valencia.* Cambridge, Mass.: Belknap Press of Harvard University Press, 1970.

Goblot, Henri. *Les Qanats: Une technique d'acquisition de l'eau.* Paris; New York: Mouton, 1979. (Industrie et artisanat; 9)

Goitein, Solomon Dob Fritz. *A Mediterranean Society; the Jewish Communities of the Arab World as Portrayed in the Documents of the Cairo Geniza.* Berkeley, Calif.: University of California Press, 1967.

Goldstein, Bernard Raphael. *The Astronomical Tables of Levi ben Gerson.* New Haven, Conn.: Connecticut Academy of Arts and Sciences, 1974. (Transactions - Connecticut Academy of Arts and Sciences; v. 45)

———. *The Astronomy of Levi ben Gerson.* New York: Springer - Verlag, ©1985. (Studies in the History of Mathematics and Physical Sciences; 11)

———. *Theory and Observation in Ancient and Medieval Astronomy.* London: Variorum Reprints, 1985. (Variorum Reprint; CS 215)

Grant, Edward (ed.). *A Source Book in Medieval Science.* Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1974. (Source Books in the History of the Sciences)

Grosset - Grange, Henri. *Glossaire du parler maritime arabe, autrefois et aujourd'hui.* [Sous presse, 1992?].

Guichard, Pierre. *Structures sociales «orientales» et «occidentales» dans l'Espagne musulmane.* Paris: Mouton, ©1977. (Civilisations et sociétés; 60)

Hamarneh, Sami Khalaf and Glenn Sonnedecker. *A Pharmaceutical View of Abulcasis (al-Zahrāwī) in Moorish Spain, with a Special Reference to the «Adhān»*. Leiden: E. J. Brill, 1963. (Janus, Suppléments; v. 5)

Hartner, Willy. *Oriens, Occidens.* Hildesheim: G. Olms, 1968. (Collectanea; 3)

———. *The Principle and Use of the Astrolabe.* Paris: Société internationale de l'Astrolabe, 1978. (Astrolabica; no. 1)

Al-Hāshimī, 'Ali Ibn Sulaymān. *The Book of the Reasons behind Astronomical Tables = Kitāb fi 'ilal al-zījāt.* Reproduction of the unique arabic text contained in the Bodleian ms. arch. Seld A. 11, with a translation by Fuad I. Haddad and E. S. Kennedy and a commentary by David Pingree and E. S. Kennedy. Delmar, N. Y.: Scholar's Facsimiles and Reprints, 1981. (Studies in Islamic Philosophy and Science)

Haskins, Charles Homer. *Studies in the History of Mediaeval Science.* 2nd ed. Cambridge: Harvard University Press, 1927. Reprinted, New York: Ungar Pub. Co., 1960.

Histoire littéraire de la France. Paris: Imprimerie nationale, 1733 - 1944. 38 vols.

Hoernerbach, Wilhelm. *Deutschland und sein Nachbarländer nach der grossen Geographie des Idrīsī.* Stuttgart: [n. pb.], 1937.

Homenaje a Manuel Ocaña Jiménez. Córdoba: Junta de Andalucia, Consejeria de Cultura, 1990.

Homenaje a Millás - Vallicrosa. Barcelona: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1954 - 1956. 2 vols.

Homenaje al Prof. Darío Cabanelas O.F.M. con motivo de su LXX aniversario. Granada: [n. pb.], 1987.

Hommage à Georges Vajda. Louvain: [s.n.], 1980.

Honigmann, Ernst. *Die sieben Klimata.* Heidelberg: C. Winter's Universitätsbuchhandlung, 1929.

Ibn Ezra, Abraham ben Meïr. *El libro de los fundamentos de las Tablas astronómicas.* Ed. crítica, con introducción y notas por José Mª. Millás Vallicrosa. Madrid: [n. pb.], 1947.

Ibn Hudhayl al-Andalusī, 'Ali Ibn 'Abd al-Raḥmān. *Gala de caballeros, balsón de paladines.* Edición preparada por María Jesús Viguera. Madrid: Editora Nacional, [©1977]. (Biblioteca de la literatura y el pensamiento hispánicos; 24)

Ibn Luyūn. *Tratado de Agricultura.* Edition et traduction espagnole de J.

Eguaras. Grenade: [s. n.], 1975.

Ibn al-Muthannā, Aḥmad. *El commentario de Ibn al-Muṭannā' a las tablas astronómicas de al- Jwārizmī*. Estudio y edición crítica del texto latino en la versión de Hugo Sanctallensis, por Eduardo Millás Vendrell. Madrid, Barcelona: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Asociación para la Historia de la Ciencia Española, 1963.

———. *Ibn al-Muthannā's Commentary on the Astronomical Tables of al-Khwārizmī*. Two hebrew versions, edited and translated, with an astronomical commentary by Bernard R. Goldstein. New Haven, Conn.: Yale University Press, 1967. (Yale Studies in the History of Science and Medicine; 2)

Ibn al-Nadīm, Muḥammad Ibn Isḥāq. *Kitāb al-Fihrist*. Mit Anmerkungen hrsg. von Gustav Flügel; nach dessen Tode von Johannes Roediger und August Mueller. Leipzig: F. C. W. Vogel, 1871 - 1872. 2 vols; Traduction anglaise par: Bayard Dodge (ed. and tr.). *The Fihrist of al-Nadīm: A Tenth - Century Survey of Muslim Culture*. New York: Columbia University Press, 1970. 2 vols. (Columbia Records of Civilization, Sources and Studies; no. 83)

Ibn Rushd. *Kitāb al-Kulliyyāt*. Edition critique par J. M. Forneas et C. Alvares Morales. Madrid: [s. n.], 1987.

Ibn al-Ṣalāḥ, Aḥmad Ibn Muḥammad. *Zur Kritik der Koordinatenüberlieferung im Sternkatalog des Almagest*. Edition et traduction par Paul Kunitzsch. Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht, 1975. (Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, Philologisch - Historische Klasse; Folge 3, Nr. 94)

Ibn Yūnus. *Le Livre de la grande table hakémite*. Partiellement éditée et traduite en français par Caussin, édition séparée des «Notices et extraits des manuscrits de la bibliothèque nationale». Paris: Imprimerie de la République, an XII (1804).

Al-Idrīsī. *India and the Neighboring Territories in the Kitāb nuzhat al-mushtāq fī-'Khtirāq al-āfāq of al-Sharīf al-Idrīsī*. A translation, with commentary, of the passages relating to India, Pakistan, Ceylon, parts of the Afghanistan and the Andaman, Nicobar and Maldive Islands, etc, by S. Maqbul Ahmad, with a foreword by V. Minorsky. Leiden: E. J. Brill, 1960. (Publications of the De Goeje Fund; 20)

———. *Opus Geographicum*. Sous la direction de l'Instituto Orientali de Naples. Leiden: E. J. Brill, 1970 -.

Jaubert, A. *La Géographie d'Edrisi*. Paris: [s. n.], 1836 - 1840. Réimprimé, Amsterdam: Philo Press, 1975.

Kammerer, Albert (ed. et tr.). *Le Routier de dom Joam de Castro:*

L'Exploration de la Mer Rouge par les Portugais en 1541. Paris: Geuthner, 1936.

Kazemi and R. B. McChesney (eds.). *Islam and Society: Arabic and Islamic Studies in Honor of Bayly Winder*. New York: New York University Press, 1988.

Kazemi, Farhad and R. D. McChesney (eds.). *A Way Prepared: Essays on Islamic Culture in Honor of Richard Bayly Winder*. New York: New York University Press, ©1988.

Kennedy, Edward Stewart. *A Commentary upon Bīrūnī's Kitāb Taḥdīd al-Amākin: An 11th Century Treatise on Mathematical Geography*. Beirut: American University of Beirut, 1973.

———. *The Planetary Equatorium of Jamshīd Ghiyāth al-Dīn al-Kāshī (d. 1429): An Edition of the Anonymous Persian Manuscript 75 <44b> in the Garrett Collection at Princeton University, Being a Description of Two Computing Instruments: The Plate of Heavens and the Plate of Conjonctions*. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1960. (Princeton Oriental Studies; v. 18)

——— and I. Ghanem. *The Life and Work of Ibn al-Shāṭir: An Arab Astronomer of the Fourteenth- Century*. Aleppo: Institute for the History of Arabic Science, 1976.

Kennedy, Edward Stewart and M. H. Kennedy. *Geographical Coordinates of Localities from Islamic Sources*. Frankfurt, A. M.: Institut für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften, 1987.

Kennedy, Edward Stewart [et al.]. *Studies in the Islamic Exact Sciences*. Beirut: American University of Beirut, ©1983.

Képler. *Gesammelte Werke*. Bd. VII. Edited by M. Caspar. Munich: [n. pb.], 1953.

Al-Khuwārizmī, Muḥammad Ibn Mūsā. *Das Kitāb Ṣūrat al-Ard des Abū Ga'far Muḥammad Ibn Mūsā al-Huwārizmī*. Ed. Hans von Mžik. Leipzig: Otto Harrassowitz, 1926. (Bibliothek Arabischer Historiker und Geographen; 3 Bd.)

King, David A. *Islamic Astronomical Instruments*. London: Variorum Reprints, 1986.

———. *Islamic Mathematical Astronomy*. London: Variorum Reprints, 1986. (Variorum Reprint; CS 231)

———. *Studies in Astronomical Timekeeping in Islam*. New York: Springer-Verlag, [n. d.].
Vol. 1: *A Survey of Tables for Reckoning Time by the Sun and Stars*.

Vol. 2: *A Survey of Tables for Regulating the Times of Prayer.*

——— and George Saliba (eds.). *From Deferent to Equant: A Volume of Studies in the History of Science in the Ancient and Medieval Near East in Honor of E. S. Kennedy.* New York: New York Academy of Sciences, 1987. (Annals of the New York Academy of Sciences; v. 500)

Kunitzsch, Paul. *Arabische Sternnamen in Europa.* Wiesbaden: Otto Harrassowitz, 1959.

———. *Der Almagest: Die Syntaxis Mathematica des Claudius Ptolemäus in Arabisch - lateinischer Überlieferung.* Wiesbaden: Otto Harrassowitz, 1974.

———. *Typen von Sternverzeichnissen in Astronomischen Handschriften des Zehnten bis Vierzehnten Jahrhunderts.* Wiesbaden: Otto Harrassowitz, 1966.

Al-Kuwārizmī, Abū ʻAbd Allāh Muḥammad Ibn Ahmad. *Liber mafātīh al-olūm, explicans vocabula technica scientiarum tam arabum quam peregrinorum, auctore Abū Abdallah Mohammed Ibn Ahmed Ibn Jūsof al-Kātib al-Khowarezmi.* Edidit et indices adjecit G. Van Vloten. Lugduni-Batavorum: E. J. Brill, 1895. Réimprimé, Leiden: E. J. Brill, 1968.

Lane, Edward William. *The Manners and Customs of the Modern Egyptians.* 3rd ed. London: J..M. Dent and Co.; New York: E. P. Dutton and Co., [1908]. (Everyman's Library, Travel and Topography; no. 315)

Langermann, Y. Tzvi. *The Jews of Yemen and the Exact Sciences.* Jerusalem: [n. pb., n. d.]. In hebrew with an english summary.

Langlès (ed.). *Voyages du chevalier Chardin en Perse, et autres lieux d'orient.* Paris: [s. n.], 1811. 10 vols.

Lech, K. *Geschichte des Islamischen Kultus.* Wiesbaden: Otto Harrassowitz, [n. d.] Bd. 2: *Das Gebet.*

Lemay, Richard Joseph. *Abu Ma'shar and Latin Aristotelianism in the Twelfth Century: The Recovery of Aristotle's Natural Philosophy through Arabic Astrology.* Beirut: American University of Beirut, 1962. (American University of Beirut, Publication of the Faculty of Arts and Sciences, Oriental Series; no. 38)

López, A. C. *Kitāb fī tartīb awqāt al-girāsa wa-l-magrūsāt: Un tratado agrícola andalusí anónimo.* Granada: [n. pb.], 1990.

Maddison, F. and A. J. Turner. *Catalogue of an Exhibition «Science and Technology in Islam» Held at the Science Museum, London, April-August 1976, in Association with the Festival of Islam.* (Unpublished).

Al-Marrākushī, Abū 'Ali al-Hasan Ibn 'Ali. *Traité des instruments astronomiques des arabes composé au treizième siècle par Aboul Hassan Ali du Maroc...* Traduit de l'arabe par J. J. Sédillot et publié par L. A. Sédillot. Paris: Imprimerie royale, 1834 - 1835. 2 vols. Réimprimé, Frankfurt: Institut für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften, 1985.

Al- Mas'ūdī. *Kitāb al-tanbīh wa'l-ishrāf.* Edidit M. J. de Goeje. Lugduni - Batavorum: E. J. Brill, 1894. Réimprimé, Beyrouth: Khayat, 1965; Traduction française: *Le Livre de l'avertissement et de la révision.* Traduit par Carra de Vaux. Paris: Imprimerie nationale, 1896.

———. *Murūj al - Dhahab (Les Prairies d'or).* Edité et traduit par C. Barbier de Meynard et Pavet de Courteille. Paris: Imprimerie impériale, 1861 - 1917; 1861 - 1930. 9 vols. (Collection d'ouvrages orientaux publiée par la société asiatique)

Mélanges Alexandre Koyré. Paris: Hermann, 1964. 2 vols. (Histoire de la pensée; 12 - 13)
Vol. 1: *L'Aventure de la science.*

Mémoires présentés à l'Institut d'Egypte. Le Caire: [s. n.], 1940.

Mendelsohn, Everett (ed.). *Transformation and Tradition in the Sciences: Essays in Honor of I. Bernard Cohen.* Cambridge; New York: Cambridge University Press, 1984.

Meyerhof, Max and G. P. Sobhy (eds. and trs.) *The Abridged Version of «The Book of Simple Drugs» of Aḥmad Ibn Muḥammad al-Ghāfiqī by Gregorius Abū'l - Farag (Barhebraus).* Cairo: [n. pb.], 1932 - 1940.

Michel, Henri. *Traité de l'astrolabe.* Préface de Ernest Esclangon. Paris: Gauthier - Villars, 1947. Réimprimé, 1983.

Millás Vallicrosa, José María. *Assaig d'història de les idees físiques i matemàtiques a la Catalunya medieval.* Barcelona: Institució Patxot, 1931 -. ([Barcelona], Estudis universitaris catalans, série monogràfica; I)

———. *Estudios sobre Azarquiel.* Madrid: Consejo Superior de Investegaciones Científicas, Instituto «Miguel Asín», Escuelas de Estudios Arabes de Madrid y Granada, 1943 - 1950.

———. *Las traducciones orientales en los manuscritos de la Biblioteca Catedral de Toledo.* Madrid: [n. pb.], 1942.

———. *Nuevos estudios sobre historia de la ciencia española.* Barcelona: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1960.

Miller, Konrad. *Mappæ Arabicæ, Arabische Welt-und Länderkarten.* Stuttgart: Selbstverlag des Herausgebers, 1926 - 1931. 6 vols.

———. *Weltkarte des Arabers Idrisi vom Jahre 1154* (Neudruck des 1928 erschienenen Werkes). Stuttgart: Brockhaus, 1981.

Molina, L. (éd.). *Una descripción anónima de al-Andalus.* Madrid: [n. pb.], 1983.

Moses ben Maimon. *Le Guide des égarés.* Traité de théologie et de philosophie par Moïse ben Maimoun, dit Maïmonide. Publié pour la première fois dans l'original arabe et accompagné d'une traduction française et de notes critiques, littéraires et explicatives par S. Munk. Paris: A. Franck, 1856 - 1866. 3 vols. Réimprimé, Paris: G. - P. Maisonneuve, 1960.

———. *Sanctification of the New Moon.* Translated from the hebrew by S. Gandz, with supplementation and an introduction by J. Obermann, and an astronomical commentary by O. Neugebauer. New Haven, Conn.: Yale University Press, 1956. (His the Code of Maimonides, Book 3, Treatise 8)

Müller, D. H. *Al-Hamdānī's Geographie der Arabischen Halbinsel.* Leiden: [n. pb.], 1884.

Nafis, Ahmad. *Muslim Contribution to Geography.* Lahore: M. Ashraf, [1947].

Nallino, Carlo Alfonso. *Raccolta di scritti editi e inediti.* A cura di Maria Nallino. Roma: Instituto per l'Oriente, 1939 - 1948. 6 vols. (Pubblicazione dell'Instituto per l'Oriente)

Nedkov, Boris. *B'lgariya i c'cednite i zemi prez XII bek spored «geografiyata» na Idrisi.* Sofia: Nauka i Iskustvo, 1960.

Needham, Joseph and Wang Ling (eds.). *Science and Civilisation in China.* Cambridge, Eng.: Cambridge University Press, 1954 -. vol. 3: *Mathematics and the Sciences of the Heavens and the Earth.*

Neugebauer, Otto. *The Astronomical Tables of al-Khwārizmī.* Translated with commentary of the latin version. Copenhagen: [n. pb.], 1962.

———. *Astronomy and History: Selected Essays.* New York: Springer - Verlag, c1983.

———. *The Exact Sciences in Antiquity.* 2nd ed. New York: Dover Publications, 1957. Traduction française par P. Souffrin. *Les Sciences exactes dans l'antiquité.* Arles: Actes Sud, 1990.

———. *A History of Ancient Mathematical Astronomy.* New York: Springer-Verlag, 1975. 3 vols. (Studies in the History of Mathematics and Physical Sciences; 1)

North, John David. *Richard of Wallingford: An Edition of His Writings.* Oxford: Clarendon Press, 1976. 3 vols.

Oliver Asín, Jaime. *Historia del nombre «Madrid»*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto Miguel Asín, 1959.

Oriente e occidente nel Medioevo: Filosofia e Scienze. Roma: Accademia dei Lincei, 1971.

Pedersen, Olaf. *A Survey of the Almagest*. Odense: Odense Universitetsforlag, 1974. (Acta Historica Scientiarum Naturalium et Medicinalium; 30)

Peurbach, Georg von. *Theoricæ novæ planetarum*. Nuremberg: Johannes Müller Regiomontanus, 1472. Reproduit dans: Johannes Mueller Regiomontanus. *Joannis Regiomontani Opera Collectanea*. Faksimiledrucke von neun Schriften Regiomontans und einer von ihm gedruckten Schrift seines Lehrers Purback. Zusammengestellt und mit einer Einleitung hrsg. von Felix Schmeidler. Osnabrück: O. Zeller, 1949; 1972.

Philopon, Jean. *Traité de l'astrolabe*. Edité et commenté par A. Segonds. Paris: Société internationale de l'Astrolabe, 1981. (Astrolabica; no. 2)

Plooij, Edward Bernard. *Euclid's Conception of Ratio and His Definition of Proportional Magnitudes as Criticized by Arabian Commentators (Including the Text in Facsimile with Translation of the Commentary on Ratio of Abū 'Abd Allāh Muḥammad Ibn Mu'ādh al-Djajjānī)*. Rotterdam: W. J. van Hengel, [1950].

Poulle, Emmanuel. *Les Instruments de la théorie des planètes selon Ptolémée: Equatoires et horlogerie planétaire du XIIIe au XVIe siècle*. Paris: Dröz - Champion, 1980. 2 vols. (Hautes études médiévales et modernes; 42)

Ptolemaues, Claudius. *L'Almageste:* Edition du texte grec par J. L. Heiberg. Leipzig: Teubner, 1898 - 1903; Traduction française par N. Halma. Paris: [s. n.], 1813-1816. Réimprimé, Paris: Hermann, 1927; Edition et traduction allemande de deux versions arabes du catalogue d'étoiles: Claudius Ptolemäus. *Der Sternkatalog des Almagest, Die Arabisch-mittelalterliche Tradition, I, Die Arabischen Übersetzungen*. Edition et traduction de Paul Kunitzsch. Wiesbaden: Otto Harrassowitz, 1986.

———. *Claudii Ptolemæi Geographia*. Edited by C. F. A. Nobbe. Leipzig: [n. pb.], 1843 - 1845. 2 vols. Reprinted in 1 vol. Hildesheim: [n. pb.], 1966.

———. *Le Livre des hypothèses:* Traduction française par N. Halma de la première partie du livre I, *Hypothèses et époques des planètes de Cl. Ptolémée*. Paris: Merlin, 1820; Edition du texte grec de la première partie du livre I et traduction de l'allemand sur l'arabe du livre II par L. Nix, *Claudii Ptolemæi Opera quæ extant omnia*. Leipzig: Teubner, 1907. Vol. II: *Opera Astronomica minora*.

———. *Phaseis:* Traduction française du livre II par N. Halma, *Chronologie de Ptolémée... Apparition des fixes, ou calendrier de Ptolémée*. Paris: Bobée,

1819.

———. *Tables Faciles.* Commentaire de Théon d'Alexandrie sur les tables manuelles astronomiques de Ptolémée, traduit par N. Halma, I - III. Paris: Bobée, 1822 - 1825. Réimprimé, Paris: Blanchard, 1990.

Ptolemy. *Ptolemy's Almagest.* Translated and annotated by G. J. Toomer. New York: Springer - Verlag, 1984.

Puig, Roser. *Los tratados de construcción y uso de la azafea de Azarquiel.* Madrid: Instituto Hispano - Arabe de Cultura, 1987. (Cuadernos de Ciencias; 1)

Raeder, Hans Henning, Elis Strömgren and Bengt Strömgren (eds. and trs.). *Tycho Brahe's Description of His Instruments and Scientific Work, as Given in Astronomiae Insturatae Mechanica.* Kobenhavn: I. Kommission hos E. Munksgaard, 1946.

Rashed, Roshdi. *Entre arithmétique et algèbre: Recherches sur l'histoire des mathématiques arabes.* Paris: Les Belles lettres, 1984. (Collection sciences et philosophie arabes)

Regiomontanus, Johannes Mueller. *Eptoma in Almagestum.* Venice: Johannes Hamman, 1496. Reproduit dans: Johannes Mueller Regiomontanus. *Joannis Regiomontani Opera Collectanea.* Faksimiledrucke von neun Schriften Regiomontans und einer von ihm gedruckten Schrift seines Lehrers Purback. Zusammengestellt und mit einer Einleitung hrsg. von Felix Schmeidler. Osnabrück: O. Zeller, 1949; 1972.

Relaciones de la Península Ibérica con el Magreb (siglos XIII - XVI). Madrid: [n. pb.], 1988.

Rhäticus, Georg Joachim. *Narratio prima.* Edition critique, traduction française, commentaire par H. Hugonnard - Roche et J. P. Verdet, avec la collaboration de M. P. Lerner et A. Segonds. Wroclaw: Ossolineum, 1982. (Studia Copernicana; 20)

Rico - Sinobas, Manuel (ed.). *Libros del saber de astronomía del rey D. Alfonso X de Castilla.* Madrid: Tip de Don E. Aguado, 1863 - 1867. 5 vols.

Rosenfeld, Boris A. *Muhammad Ibn Musa al-Khorezmi.* Moscow: Nauka, 1983.

Sā'id Ibn Aḥmad al-Andalusī. *Kitāb Ṭabakāt al-Umam (Livre des catégories des nations).* Traduction avec notes et indices précédée d'une introduction par Régis Blachère. Paris: Larose, 1935.

Saltzer, W. and Y. Maeyama (eds.). *Prismata: Festschrift für Willy Hartner.* Wiesbaden: Franz Steiner, 1977.

Samsó, Julio. *Estudios sobre Abū Naṣr Manṣūr b. 'Ali b. 'Irāq.* Barcelona: [n. pb.], 1969.

Sarfatti, G. B. *Mathematical Terminology in Hebrew Scientific Literature of the Middle Ages.* Jerusalem: [n. pb.], 1968.

Saunders, Harold N. *All the Astrolabes.* Oxford, Eng.: Senecio Pub. Co., 1984.

Savage-Smith, Emilie. *Islamicate Celestial Globes: Their History, Construction and Use.* With a chapter on icnography by A. P. A. Belloli. Washington, D.C.: Smithsonian Institution Press, 1985. (Smithsonian Studies in History and Technology; no. 46)

Sayili, Aydin Mehmed. *The Observatory in Islam and Its Place in the General History of the Observatory.* Ankara: Türk Tarih Kurumu Basimevi, 1960. (Publications of the Turkish Historical Society; ser. 7, no. 38)

Science and History: Studies in Honor of Edward Rosen. Edited by Erna Hilfstein, Pawel Czartoryski and Frank D. Grande. Wroclaw: Ossolineum, 1978. (Studia Copernicana; 16)

Scientific Change. London: Heinemann, 1963.

Sédillot, L.A. *Prolégomènes des tables astronomiques d'Oloug Beyg.* Paris: Didot, 1853.

Serjeant, Robert Bertram. *The Portuguese off the South Arabian Coast: Haḍramī Chronicles, with Yemeni and European Accounts of Dutch Pirates off Mocha in the Seventeenth Century.* Oxford: Clarendon Press, 1963.

Serta Gratulatoria in honorem Juan Régulo. La Laguna: [n. pb.], 1985.
Vol. 1: *Filología.*

Sezgin, Fuat. *Geschichte des Arabischen Schrifttums.* Leiden: E. J. Brill, 1967 - 1982. 8 vols.

Vol. 5: *Mathematik.*

Vol. 6: *Astronomie.*

Singer, Charles Joseph [et al.] (eds.). *A History of Technology.* Oxford: Clarendon Press, 1954-1958. 5 vols.

Steinschneider, Moritz. *Die Hebräischen Übersetzungen.* Berlin: [n. pb.], 1983.

Studi orientalistici in onore di G. Levi Della Vida. Rome: [n. pb.], 1956.

Al-Ṣūfī, 'Abd al-Raḥmān. *Kitāb Suwar al-Kawākib.* Hyderabad: 1953... Traduction française par H. C. F. C. Schjellerup. *Description des étoiles fixes; composée au milieu du dixième siècle de notre ère, par l'astronomie persan 'Abd al-Raḥmān al-Ṣufī.* St. Pétersbourg: Commissionaires de l'Académie

impériale des sciences, 1874. Réimprimé, Frankfurt: [s. n.], 1986.

Suhrāb. *Das Kitāb 'agā'ib al-akālīm as-sab'a des Suhrāb.* Herausgegeben nach dem handschriftlichen Unikum des Britischen Museums in London/ cod. 23379 add., von Hans v. Mžik. Leipzig: Otto Harrassowitz, 1930. (Bibliothek Arabischer Historiker und Geographen, Bd. 5)

Suter, Heinrich. *Die Astronomischen Tafeln des Muḥammed Ibn Mūsā al-Khwārizmī in der Bearbeitung des Maslama Ibn Ahmed al-Madjrīṭī und der latein.* Übersetzung des Athelhard von Bath auf grun der vorarbeiten von A. Björnbo und R. Besthorn in Kopenhagen... hrsg und Kommentiert von H. Suter. Kobenhavn: A. F. Host and Son, 1914.

———. *Die Mathematiker und Astronomen der Araber und Ihre Werke.* Leipzig: B. G. Teubner, 1900. (Abhandlungen zur Geschichte der Mathematischen Wissenschaften mit Einschluss ihrer Awendungen, 10. hft.)

Swerdlow, Noël M. and Otto Neugebauer. *Mathematical Astromony in Copernicus's De Revolutionibus.* New York: Springer - Verlag, ©1984. 2 vols. (Studies in the History of Mathematics and Physical Sciences; 10)

Les Tables alphonsines; avec, les canons de Jean de Saxe. Edition, traduction et commentaire par Emmanuel Poulle. Paris: Centre national de la recherche scientifique, 1984. (Sources d'histoire médiévale)

Tannery, Paul. *Recherches sur l'histoire de l'astronomie ancienne.* Paris: Gauthier - Villars, 1893.

Textos y Estudios sobre las Fuentes Arabes de la Astronomía de Alfonso X. Barcelona: [n. pb.], 1990.

Thābit Ibn Qurra. *Œuvres d'astronomie.* Texte établi et traduit par Régis Morelon. Paris: Les Belles lettres, 1987.

Tibbetts, Gerald Randall. *Arab Navigation in the Indian Ocean before the Coming of the Portuguese.* London: Royal Asiatic Society of Great Britain and Ireland, Sold by Luzac, 1971.

Toomer, G.J. *Revolutions of the Heavenly Spheres.* Chicago, Ill.: Great Books; University of Chicago Press, 1962.

Torre, Esteban. *Averroes y la ciencia médica: La Doctrina anatomofuncional del Colliget.* Madrid: Ediciones del Centro, 1974. (Ciencia y técnica; 21)

Türkische Kunst und Kultur des Osmanischen Zeit. Recklinghausen: Verlag Aurel Bongers, 1985.

Turner, Anthony John. *The Time Museum: Catalogue of the Collection.* General editor Bruce Chandler. Rockford, Ill.: The Museum, 1984.

Vol. 1: *Time Measuring Instruments.*

Tuulio - Tallgren, Oiva Johannes. *Du nouveau sur Idrīsī.* Edition critique, traduction, études par O. J. Tuulio - Tallgren. Helsinki: Imprimerie de la société de littérature finnoise, 1936.

———. *La Finlande et les autres pays baltiques orientaux.* Edition critique du texte arabe, avec facsimilés de tous les manuscrits connus, traduction, étude de la toponymie, aperçu historique, cartes et gravures ainsi qu'un appendice donnant le texte de VII 3 et de VII 5, par O. J. Tuulio - Tallgren et A.M. Tallgren. Helsingforsiae: Societas Orientalis Fennica, 1930.

Twersky, I. *A Maimonides Reader.* New York: [n. pb.], 1972.

Vernet, Juan. *Ce que la culture doit aux arabes d'Espagne.* Traduit de l'espagnol par Gabriel Martinez Gros. Paris: Sindbad, 1985 (La Bibliothèque arabe, collection l'histoire décolonisée); Traduction allemande: *Die Spanisch - arabische Kultur in Orient und Okzident.* Zürich; Munich: [n. pb.], 1984.

———. *La Ciencia en al-Andalus.* Sevilla: [s. n.], 1986.

———. *Estudios sobre Historia de la Ciencia Medieval.* Barcelona; Bellaterra: [n. pb.], 1979.

———. *Textos y Estudios sobre Astronomía Española en el siglo de Alfonso X.* Barcelona: [n. pb.], 1981.

——— (éd.). *Nuevos Estudios sobre Astronomía Española en el Siglo de Alfonso X.* Barcelona: Instituto de Filologia, Institución «Milá y Fontanals», Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1983.

——— *Textos y Estudios sobre Astronomía Española en el siglo XIII.* Barcelona: Facultad de Filosofia y Letras, Universidad Autónoma de Barcelona, 1981.

Vicaire, M. - H. et B. Blumenkranz (dirs.) *Juifs et Judaïsme de Languedoc.* Toulouse: [s. n.], 1977.

Viladrich, Merce. *El Kitāb al-'amal bi-l-asṭurlāb (Llibre de l'ús de l'astrolabi) d'Ibn al-Samḥ.* Barcelona: [n. pb.], 1986. (Estudi i Traducción)

Villeneuve, Arnaud de. *Aphorismi de gradibus.* Ed. M.R. McVaugh. Granada; Barcelona: [n. pb.], 1975.

Villiers, Alan John. *Sons of Sindbad.* Portway - Bath: Cedric Chivers, 1966.

Villuendas, M. V. *La Trigonometría europea en el siglo XI: Estudio de la obra de Ibn Mu'ādh: El Kitāb maŷhūlāt.* Barcelona: [n. pb.], 1979.

Wiedemann, Eilhard E. *Aufsätze zur Arabischen Wissenschaftsgeschichte.*

Hildesheim; New York: G. Ilms, 1970. 2 vols. (Collectanea; VI)

Youschkevitch, A. P. *Les Mathématiques arabes (VIIIe - XVe siècles)*. Paris: Vrin, 1976.

Al-Zarqālluh. *Al-Shakkāziyya - Ibn al-Naqqāsh - Al-Zarqālluh*. Edición, traducción y estudio por Roser Puig. Barcelona: [n. pb.], 1986.

Periodicals

Abbot, Nabia. «Indian Astrolabe Makers.» *Islamic Culture:* vol. 9, no. 1, January 1937.

Alonso, M. A. «Averroes observador de la naturaleza.» *Al-Andalus:* vol. 5, 1940.

Asín Palacios, Miguel. «Avempace Botánico.» *Al-Andalus:* vol. 5, 1940.

Attié, Bachir. «La Bibliographie de *al-Muqni'* d'Ibn Haǧǧāǧ.» *Hespéris-Tamuda:* vol. 19, 1980 - 1981.

———. «Ibn Haǧǧāǧ était-il polyglotte?» *Al-Qanṭara:* vol. 1, 1980.

———. «L'Ordre chronologique probable des sources directes d'Ibn al-'Awwām.» *Al-Qanṭara:* vol. 3, 1982.

———. «L'Origine d'*al-Falāḥa ar-Rūmīya* et du Pseudo-Qusṭūs.» *Hespéris-Tamuda:* vol. 13, fascicule unique, 1972.

Ausejo, E. «Trigonometría y astronomía en el *Tratado del Cuadrante Sennero* (c. 1280).» *Dynamis:* vol. 4, 1984.

Avezac, Macaya de. «Coup d'œil historique sur la projection des cartes de géographie.» *Bulletin de la société de géographie:* vol. 5, no. 5, 1863.

Avi - Yonah, R. S. «Ptolemy vs. al-Bitruji: A Study of Scientific Decision - Making in the Middle Ages.» *Archives internationales d'histoire des sciences:* vol. 35, 1985.

Bagrow, Leo. «A Tale from the Bosphorus: Some Impressions from My Work at the Topkapu Saray Library, Summer 1954.» *Imago Mundi:* vol. 12, 1955.

Barceló, C. et A. Labarta. «Ocho relojes de sol hispano - musulmanes.» *Al-Qanṭara:* vol. 9, 1988.

Barmore, F. E. «Turkish Mosque Orientation and the Secular Variation of the Magnetic Declination.» *Journal of Near Eastern Studies:* vol. 44, 1985.

Beeston, A. F. L. «Idrisi's Account of the British Isles.» *Bulletin of the School of Oriental and African Studies:* vol. 13, 1950.

Bel, A. «Trouvailles archéologiques à Tlemcen: Un cadran solaire arabe.»

Revue africaine: vol. 49, 1905.

Berggren, J. L. «Al-Bīrūnī on Plane Maps of the Sphere.» *Journal for the History fo Arabic Science:* vol. 6, nos. 1 - 2, 1982.

———. «A Comparison of Four Analemmas for Determining the Azimuth of the *Qibla.*» *Journal for the History of Arabic Science:* vol. 4, no. 1, Fall 1980.

———. «The Origins of al-Bīrūnī's Method of the *Zījes* in the Theory of Sundials.» *Centaurus:* vol. 28, 1985.

——— and Bernard Raphael Goldstein (eds.). «From Ancient Omens to Statistical Mechanics: Essays on the Exact Sciences Presented to Asger Aaboe.» *Acta Historica Scientiarum Naturalium et Medicinalium* (Copenhagen): vol. 39, 1987.

Boilot, D. J. «L'Œuvre d'al-Bērūnī: Essai bibliographique.» *Mélanges de l'institut dominicain d'études orientales du Caire:* vol. 2, 1955.

Boutelle, Marion. «The Almanac of Azarquiel.» *Centaurus:* vol. 12, no. 1, 1967.

Bruin, Fr. «The Fakhri Sextant in Rayy.» *Al-Bīrūnī Newsletter* (Beirut, American University of Beirut): no. 19, April 1969.

Carabeza, J. M. «La Edicion jordana de *al-Muqni'* de Ibn Ḥâŷyaŷ: Broblemas en torno a su autoría.» *Al-Qanṭara:* vol. 11, 1990.

Carandell, J. «An Analemma for the Determination of the Azimuth of the *Qibla* in the *Risāla fī 'ilm al-ẓilāl* of Ibn al-Raqqām.» *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften:* Bd. 1, 1984.

———. «Dos cuadrantes solares andalusíes de Medina Azara.» *Al-Qanṭara:* vol. 10, 1989.

———. «Trazado de las curvas de oración en los cuadrantes horizontales en la *Risāla fī 'ilm al-ẓilāl* de Ibn al-Raqqām.» *Dynamis:* vol. 4, 1984.

Carmody, Francis J. «The Planetary Theory of Ibn Rushd.» *Osiris:* vol. 10, 1952.

Caro Baroja, J. «Norias, azudas, aceñas.» *Revista de Dialectología y Tradiciones Populares:* vol. 10, 1954.

Carra de Vaux (Le Baron). «L'Almageste d'Abū-l-Wéfā' Albūzdjānī.» *Journal asiatique:* 8ème série, tome 19, mai- juin 1892.

Casanova, P. «La Montre du Sultan Noūr ad-Dīn (554 de l'Hégire = 1159 - 1160).» *Syria:* vol. 4, 1923.

Catala, M. A. «Consideraciones sobre la tabla de coordenadas estelares.» *Al-Andalus:* vol. 30, 1965.

Colin, Georges S. «L'Origine des norias de Fès.» *Hespéris:* vol. 16, 1933.

———. «Un nouveau traité grenadin d'hippologie.» *Islamica:* vol. 6, 1934.

Cortabarria Beitia, A. «Deux sources de S. Albert le Grand: Al-Biṭrūjī et al-Battānī.» *Mélanges de l'institut dominicain d'études orientales du Caire:* vol. 15, 1982.

Dallal, Ahmad. «Al-Bīrūnī on Climates.» *Archives internationales d'histoire des sciences:* vol. 34, 1984.

Debarnot, Marie-Thérèse. «Introduction du triangle polaire par Abū Naṣr b. 'Irāq.» *Journal for the History of Arabic Science:* vol. 2, no. 1, May 1978.

Dizer, Muammer. «The Dā'irat al-Mu'addal in the Kandilli Observatory, and Some Remarks on the Earliest Recorded Islamic Values of the Magnetic Declination.» *Journal for the History of Arabic Science:* vol. 1, no. 2, November 1977.

Doncel, M. G. «Quadratic Interpolations in Ibn Mu'ādh.» *Archives internationales d'histoire des sciences:* vol. 32, 1982.

Drecker, Joseph. «Das Planisphærium des Claudius Ptolemaeus.» *Isis:* vol. 9, 1927.

Eisler, R. «The Polar Sighting Tube.» *Archives internationales d'histoire des sciences:* vol. 6, 1949.

Garbers, Karl. «Ein Werk Thābit b. Qurra's über ebene Sonnenuhren.» *Quellen und Studien zur Geschichte der Mathematik, Astronomie und Physik:* Abt. A, Bd. 4, 1936.

García Sánchez, E. «Al-Ṭignarī y su lugar de origen.» *Al-Qanṭara:* vol. 9, 1988.

———. «El tratado agrícola del granadino al-Ṭignarī.» *Quaderni di Studi Arabi:* vols. 5 - 6, 1987 - 1988.

Goldstein, Bernard Raphael. «The Arabic Version of Ptolemy's *Planetary Hypotheses.*» Reproduction of the entire arabic manuscript, which contains the second part of book I, and a partial english translation. *Transactions of the American Philosophical Society:* vol. 57, part 4, 1967.

———. «The Book of Eclipses of Masha'allah.» *Physis:* vol. 6, 1964.

———. «Ibn Mu'ādh's Treatise on Twilight and the Height of the Atmosphere.» *Archive for History of Exact Sciences:* vol. 17, 1977.

———. «Levi ben Gerson: On Instrumental Errors and the Transversal Scale.» *Journal for the History of Astronomy:* vol. 8, 1977.

———. «On the Theory of Trepidation According to Thābit b. Qurra and al-Zarqāllu and Its Implications for Homocentric Planetary Theory.» *Centaurus:* vol. 10, 1964.

———. «The Role of Science in the Jewish Community in Fourteenth Century France.» *Annals of the New York Academy of Sciences:* vol. 314, 1978.

———. «Star Lists in Hebrew.» *Centaurus:* vol. 28, 1985.

———. «The Status of Models in Ancient and Medieval Astronomy.» *Centaurus:* vol. 24, 1980.

———. «The Survival of Arabic Astronomy in Hebrew.» *Journal for the History of Arabic Science:* vol. 3, no. 1, Spring 1979.

——— and David Pingree. «Additional Astrological Almanacs from the Cairo Geniza.» *Journal of the American Oriental Society:* vol. 103, 1983.

———. «Astronomical Computations for 1299 from the Cairo Geniza.» *Centaurus:* vol. 25, 1982.

———. «More Horoscopes from the Cairo Geniza.» *Proceedings of the American Philosophical Society:* vol. 125, no. 2, April 1981.

Grafton, Anthony. «Michael Maestlin's Account of Copernican Planetary Theory.» *Proceedings of the American Philosophical Society:* vol. 117, no. 6, December 1973.

Grant, Edward. «Aristotle, Philoponus, Avempace and Galileo's Pisan Dynamics.» *Centaurus:* vol. 11, no. 2, 1965.

Grosset - Grange, Henri. «Analyse des voyages d'Inde à Malacca.» *Navigation:* vol. 81, 1973.

———. «La Côte africaine dans les routiers nautiques arabes.» *Azania:* (Nairobi, British Institute in Eastern Africa): vol. 13, 1978.

———. «Noms d'étoiles, quelques termes particuliers.» *Arabica:* 1972; 1977 et 1979.

———. «La Science nautique arabe.» *Jeune marine:* nos. 16 à 29 sauf 22, 1977 à 1979.

———. «Une carte nautique arabe au moyen âge.» *Acta Geographica:* vol. 27, 1976.

Hairetdinova. «On Spherical Trigonometry in the Medieval Near East and in Europe.» *Historia mathematica:* vol. 13, 1986.

Hartner, Willy. «The Mercury Horoscope of Marcantonio Michiel of Venice:

A Study in the History of Renaissance Astrology and Astronomy.» *Vistas in Astronomy:* vol. 1, 1955.

———. «Ptolemy, Azarquiel, Ibn al-Shātir and Copernicus on Mercury: A Study of Parameters.» *Archives internationales d'histoire des sciences:* vol. 24, 1974.

———. «Trepidation and Planetary Theories: Common Features in Late Islamic and Early Renaissance Astronomie.» *Accad. Naz. dei Lincei, Fondazione Alessandro Volta, Atti dei Convegni:* vol. 13, 1971.

Hawkins, G. S. and David A. King. «On the Orientation of the Ka'ba.» *Journal for the History of Astronomy:* vol. 13, 1982.

Hermelink, H. «Tabulæ Jahen.» *Archive for History of Exact Sciences:* vol. 2, 1964.

Hogendijk, J. P. «Discovery of an 11th-Century Geometrical Compilation: The *Istikmāl* of Yūsuf al-Mu'taman Ibn Hūd, King of Saragossa.» *Historia Mathematica:* vol. 13, 1986.

———. «The Geometrical Parts of the *Istikmāl* of Yūsuf al-Mu'taman Ibn Hūd (11th Century): An Analytical Table of Contents.» (University of Utrecht, Department of Mathematics, Reprint no. 626, November 1990. Reprinted in: *Archives internationales d'histoire des sciences:* vol. 41, 1991.

Holmyard, E. J. «Maslama al-Majrīṭī and the Rutbatu'l-Ḥakīm.» *Isis:* vol. 6, no. 18, 1924.

Janin, Louis. «Le Cadran solaire de la Mosquée Umayyade à Damas.» *Centaurus:* vol. 16, no. 4, 1972.

———. «Quelques aspects récents de la gnomonique tunisienne.» *Revue de l'occident musulman et de la Méditerranée:* vol. 24, 1977.

——— and David A. King. «Le Cadran solaire de la Mosquée d'Ibn Ṭūlūn au Caire.» *Journal for the History of Arabic Science:* vol. 2, no. 2, November 1978.

———. «Ibn al-Shāṭir's *Ṣandūq al-Yawāqīt:* An Astronomical *«Compendium».»* *Journal for the History of Arabic Science:* vol. 1, no. 2, November 1977.

Jensen, Claus. «Abū Naṣr Manṣūr's Approach to Spherical Astronomy as Developed in His Treatise *«The Table of Minutes».» Centaurus:* vol. 16, no. 1, 1971.

Kennedy, Edward Stewart. «Geographical Latitudes in al-Idrīsī's World Map.» *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaf-*

ten: Bd. 3, 1986.

———. «Late Medieval Planetary Theory.» *Isis:* vol. 57, no. 189, Fall 1966.

———. «The Lunar Visibility Theory of Ya'qūb Ibn Ṭāriq.» *Journal of Near Eastern Studies:* vol. 27, 1968.

———. «The Sasanian Astronomical Handbook *Zīj-i Shāh* and the Astrological Doctrine of «Transit» *(Mamarr)*.» *Journal of the American Oriental Society:* vol. 78, 1958.

———. «Spherical Astronomy in Kāshī's Khāqānī Zīj.» *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften:* Bd. 2, 1985.

———. «A Survey of Islamic Astronomical Tables.» *Transactions of the American Philosophical Society* (N.S.): vol. 46, 1956.

———. «Two Persian Astronomical Treatises by Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī.» *Centaurus:* vol. 27, 1948.

——— and David A. King. «Indian Astronomy in Fourteenth - Century Fez: The Versified Zīj of al-Qusunṭīnī.» *Journal for the History of Arabic Science:* vol. 6, nos. 1 - 2, 1982.

——— and M. H. Regier. «Prime Meridians in Medieval Islamic Astronomy.» *Vistas in Astronomy:* vol. 28, 1985.

——— and Mardiros Janjanian. «The Crescent Visibility Table in al-Khwārizmī's Zīj.» *Centaurus:* vol. 11, no. 2, 1965.

——— and Marie-Thérèse Debarnot. «Two Mappings Proposed by Bīrūnī.» *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften:* Bd. 1, 1984.

——— and Victor Roberts. «The Planetary Theory of Ibn al-Shāṭir.» *Isis:* vol. 50, no. 161, September 1959.

——— and Y. Id. «A Letter of al-Bīrūnī: Ḥabash al-Ḥāsib's Analemma for the *Qibla*.» *Historia Mathematica:* vol. 1, 1974.

Keuning, Johannes. «The History of Geographical Map Projections until 1600.» *Imago Mundi:* vol. 12, 1955.

King, David A. «An Analog Computer for Solving Problems of Spherical Astronomy: The *Shakkāzīya* Quadrant of Jamāl al-Dīn al-Māridīnī.» *Archives internationales d'histoire des sciences:* vol. 24, 1974.

———. «Architecture and Astronomy: The Ventilators of Medieval Cairo and their Secrets.» *Journal of the American Oriental Society:* vol. 104, 1984.

———. «Astronomical Alignments in Medieval Islamic Religious Architec-

ture.» *Annals of the New York Academy of Sciences:* vol. 385, 1982.

———. «The Astronomy of the Mamluks.» *Isis:* vol. 74, no. 274, December 1983.

———. «Al-Bazdawī on the *Qibla* in Early Islamic Transoxiana.» *Journal for the History of Arabic Science:* vol. 7, nos. 1 - 2, 1983.

———. «The Earliest Islamic Mathematical Methods and Tables for Finding the Direction of Mecca.» *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch-Islamischen Wissenschaften:* Bd. 3, 1986.

———. «Ibn Yūnus' Very Useful Tables for Reckoning Time by the Sun.» *Archive for History of Exact Sciences:* vol. 10, 1973.

———. «Al-Khalīlī's Auxiliary Tables for Solving Problems of Spherical Astronomy.» *Journal for the History of Astronomy:* vol. 4, 1973.

———. «Al-Khalīlī's *Qibla* Table.» *Journal of Near Eastern Studies:* vol. 34, no. 2, April 1975.

———. «Al-Khwārizmī and New Trends in Mathematical Astronomy in the Ninth Century.» *Occasional Papers on the Near East* (New York University, Hagop Kevorkian Center for Near Eastern Studies): vol. 2, 1983.

———. «Mathematical Astronomy in Medieval Yemen.» *Arabian Studies:* vol. 5, 1979.

———. «New Light on the *Zīj al-Ṣafā'iḥ* of Abū Ja'afar al-Khāzin.» *Centaurus:* vol. 23, 1980.

———. «The Sacred Direction in Medieval Islam: A Study of the Interaction of Science and Religion in the Middle Ages.» *Interdisciplinary Science Reviews:* vol. 10, 1985.

———. «Some Medieval Values of the *Qibla* at Cordova.» *Journal for the History of Arabic Science:* vol. 2, 1978.

———. «A Survey of Medieval Islamic Shadow Schemes for Simple Timereckoning.» *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften:* Bd. 4, 1987.

———. «Three Sundials from Islamic Andalusia.» *Journal for the History of Arabic Science:* vol. 2, no. 2, November 1978.

Kramers, J. H. «La Question Balḫī - Iṣṭahrī - Ibn Ḥawqal et l'Atlas de l'Islam.» *Acta Orientalia:* vol. 10, 1932.

Kühne, R. «La *Urjūza fī-l-ṭibb* de Sa'īd Ibn 'Abd Rabbihi.» *Al-Qanṭara:* vol. 1, 1980.

Kunitzsch, Paul. «On the Authenticity of the Treatise on the Composition and Use of the Astrolabe Ascribed to Messahalla.» *Archives internationales d'histoire des sciences:* vol. 31, 1981.

———. «Two Star Tables from Medieval Spain.» *Journal for the History of Astronomy*: vol. 11, 1980.

———. «Zur Stellung der Nautikertexte innerhalb der Sternnomenklatur der Araber.» *Der Islam:* vol. 43, 1967 et vol. 56, 1979.

Langermann, Y. Tzvi. «The Book of Bodies and Distances of Ḥabash al-Ḥāsib.» *Centaurus:* vol. 28, 1985.

Lorch, Richard P. «The Astronomical Instruments of Jābir Ibn Aflaḥ and the *Torquetum.*» *Centaurus:* vol. 20, 1976.

———. «The Astronomy of Jābir Ibn Aflaḥ.» *Centaurus:* vol. 19, no. 2, 1975.

———. «Nāṣr b. 'Abdallāh's Instrument for Finding the *Qibla.*» *Journal for the History of Arabic Science:* vol. 6, nos. 1 - 2, 1982.

———. «The *Qibla* - Table Attributed to al-Khāzinī.» *Journal for the History of Arabic Science:* vol. 4, no. 2, Fall 1980.

Luckey, P. «Thābit b. Qurra's Buch über die ebenen Sonnenuhren.» *Quellen und Studien zur Geschichte der Mathematik, Astronomie und Physik:* Abt. B, Bd. 4, 1937 - 1938.

Makkī, Maḥmūd, 'Alī. «Ensayo sobre las aportaciones orientales en la España Musulmana y su influencia en la formación de la cultura, hispano-árabe.» *Revista del Instituto Egipcio de Estudios Islámicos:* vols. 9 - 10, 1961 - 1962 and vols. 11 - 12, 1963 - 1964.

Marín, Manuela. «Ṣaḥāba et ṭābi'ūn dans al-Andalus: Histoire et légende.» *Studia Islamica:* vol. 54, 1981.

Marti, R. et M. Viladrich. «Las tablas de climas en los tratados de astrolabio del manuscrito 225 del *scriptorium* de Ripoll.» *Llull:* vol. 4, 1981.

Martínez, L. «Teorías sobre las mareas según un manuscrito árabe del siglo XII.» *Memorias de la Real Academia de Buenas Letras:* vol. 13, 1971 - 1975.

Menéndez Pidal, Gonzalo. «Mozárabes y asturianos en la cultura de la Alta Edad Media en relación especial con la historia de los conocimientos geográficos.» *Boletín de la Real Academia de la Historia:* vol. 134, 1954.

Mercier, R. «Studies in the Medieval Conception of Precession.» *Archives internationales d'histoire des sciences:* vol. 26, 1976 et vol. 27, 1977.

Meyerhof, Max. «Esquisse d'histoire de la pharmacologie et botanique chez les

musulmans d'Espagne.» *Al-Andalus:* vol. 3, 1935.

Michel, Henri. «L'Astrolabe linéaire d'al-Tūsī.» *Ciel et terre* (Bruxelles): vol. 59, nos. 3 - 4, 1943.

——— et A. Ben - Eli. «Un cadran solaire remarquable.» *Ciel et terre:* vol. 81, 1965.

Millás Vallicrosa, José Mª. «Los primeros tratados de astrolabio en España.» *Revista del Instituto Egipcio de Estudios Islámicos:* vol. 3, 1955.

Moody, Ernest A. «Galileo and Avempace: The Dynamics of the Leaning Tower Experiment.» *Journal for the History of Ideas:* vol. 12, no. 2, April 1951.

Morelon, Régis. «Les Deux versions du traité de Thābit b. Qurra *Sur le mouvement des deux luminaires.*» *Mélanges de l'institut dominicain d'études orientales du Caire:* vol. 18, 1988.

———. «Fragment arabe du premier livre du *Phaseis* de Ptolémée.» *Journal for the History of Arabic Science:* vol. 5, nos. 1 - 2, 1981.

Mžik, Hans von. «Idrīsī und Ptolemaus.» *Orientalistische Literaturzeitung:* Bd. 15, 1912.

———. «Ptolemaeus und die Karten der Arabischen Geographen.» *Mitt. d. K. K. geog. Ges. Wien:* Bd. 58, 1915.

Nadvi, Syed Sulaiman. «Some Indian Astrolabe - Makers.» *Islamic Culture:* vol. 9, no. 4, October 1935.

Nallino, Carlo Alfonso. «Il valore metrico del grado di meridiano secondo i geografi arabi.» *Cosmos di Guido Cora:* vol. 11, 1892 - 1893.

———. «Un mappamundo arabo disegnato nel 1579 da 'Alī Ibn Aḥmad al-Sharafī di Sfax.» *Bolletino della Reale Società Geografica Italiana:* vol. 5, no. 5, 1916.

Nau, M. F. «Le Traité sur l'astrolabe: Plan de Sévère Sabokt.» *Journal asiatique:* 9ème série, tome 13, 1899.

Neugebauer, Otto. «An Arabic Version of Ptolemy's Parapegma from the *Phaseis.*» *Journal of the American Oriental Society:* vol. 91, no. 4, 1971.

———. «The Early History of the Astrolabe: Studies in Ancient Astronomy IX.» *Isis:* vol. 40, no. 121, August 1949.

———. «The Equivalence of Eccentric and Epicyclic Motion According to Apollonius.» *Scripta Mathematica:* vol. 24, 1959.

———. «Mathematical Methods in Ancient Astronomy.» *Bulletin of the*

American Mathematical Society: vol. 54, 1948.

———. «Thābit ben Qurra *«On the Solar Year»* and *«On the Motion of the Eighth Sphere».»* *Proceedings of the American Philosophical Society:* vol. 106, no. 3, June 1962.

Petersen, Viggo M. «The Three Lunar Models of Ptolemy.» *Centaurus:* vol. 14, no. 1, 1969.

Pines, Shlomo. «La Théorie de la rotation de la terre à l'époque d'al-Bīrūnī.» *Journal asiatique:* tome 244, 1956.

Pingree, David. «The Fragments of the Works of al-Fazārī.» *Journal of Near Eastern Studies:* vol. 29, no. 2, April 1970.

———. «The Fragments of the Works of Ya'qūb Ibn Ṭāriq.» *Journal of Near Eastern Studies:* vol. 27, no. 2, April 1968..

———. «The Indian and Pseudo-Indian Passages in Greek and Latin Astronomical and Astrological Texts.» *Viator:* vol. 7, 1976.

———. «The *Liber Universus* of 'Umar Ibn al-Farrukhān al-Ṭabarī.» *Journal for the History of Arabic Science:* vol. 1, no. 1, May 1977.

Poch, M. D. «El concepto de *quemazón* en el *Libro de las Cruzes.*» *Awrāq:* vol. 3, 1980.

Poulle, Emmanuel. «Jean de Murs et les tables alphonsines.» *Archives d'histoire doctrinale et littéraire du moyen âge:* vol. 47, 1980.

———. «Théorie des planètes et trigonométrie au XVe siècle d'après un équatoire inédit, le sexagenarium.» *Journal des savants:* 1966.

———. «Le Traité d'astrolabe de Raymond de Marseille.» *Studi medievali:* vol. 5, 1964.

Prémare, A. L. de. «Un andalou en Egypte à la fin du XVe siècle: Abū-l-Ṣalt de Dénia et son épître égyptienne.» *Mélanges de l'institut dominicain d'études orientales du Caire:* vol. 8, 1964 - 1966.

Puig, Roser. «Ciencia y técnica en la *Iḥāṭa* de Ibn al-Jaṭīb: Siglos XIII y XIV.» *Dynamis:* vol. 4, 1984.

———. «Concerning the *ṣafīḥa shakkāziyya.*» *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften:* Bd. 2, 1985.

———. «Dos notas sobre ciencia hispano - árabe a finales del siglo XIII en la *Iḥāṭa* de Ibn al-Jaṭīb.» *Al-Qanṭara:* vol. 4, 1983.

Rashed, Roshdi. «Problems of the Transmission of Greek Scientific Thought into Arabic: Examples from Mathematics and Optics.» *History of*

Science: vol. 27, 1989.

———. «As - Samaw'āl, al-Bīrūnī et Brahmagupta: Les Méthodes d'interpolation.» *Arabic Sciences and Philosophy:* vol. 1, 1991.

Renaud, H. P. J. «Notes critiques d'histoire des sciences chez les musulmans. I. Les Ibn Bāṣo.» *Hespéris:* vol. 24, 1er - 2e trimestres, 1937.

———. «Notes critiques d'histoire des sciences chez les musulmans. IV. Sur un passage d'Ibn Khaldūn relatif à l'histoire des mathématiques.» *Hespéris:* vol. 31, fascicule unique, 1944.

———. «Trois études d'histoire de la médecine arabe en occident: I. Le Musta'īnī d'Ibn Beklāreš.» *Hespéris:* vol. 10, fascicule II, 1930.

———. «Un chirurgien musulman du royaume de Grenade: Muḥammad Aš-Šafra.» *Hespéris:* vol. 20, fascicules I-II, 1935.

———. «Un chirurgien musulman du royaume de Grenade: Note complémentaire.» *Hespéris:* vol. 27, fascicule unique, 1940.

Richler, B. «Manuscripts of Avicenna's Kanon in Hebrew Translation.» *Koroth:* vol. 8, 1982.

Richter - Bernburg, Lutz. «Al-Bīrūnī's *Maqāla fī tasṭīḥ al-ṣuwar wa tabṭīkh al-Kuwar:* A Translation of the Preface with Notes and Commentary.» *Journal for the History of Arabic Science:* vol. 6, 1982.

Roberts, Victor. «The Solar and Lunar Theory of Ibn ash-Shāṭir: A Pre-Copernican Copernican Model.» *Isis:* vol. 48, no. 154, December 1957.

Rodgers, R. H. «¿Yūniyūs o Columela en la España Medieval?» *Al-Andalus:* vol. 43, 1978.

Rodríguez Molero, F. X. «Originalidad y estilo de la Anatomía de Averroes.» *Al-Andalus:* vol. 15, 1950.

Rosińska, Grażyna. «Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī and Ibn al-Shāṭir in Cracow?» *Isis:* vol. 65, no. 227, June 1974.

Ruska, Julius. «Neue Bausteine zur Geschichte der Arabischen Geographie.» *Geographische Zeitschrift:* Bd. 24, 1918.

Saliba, George. «Arabic Astronomy and Copernicus.» *Zeitschrift für Geschichte der Arabisch - Islamischen Wissenschaften:* Bd. 1, 1984.

———. «Ibn Sīnā and Abū 'Ubayd al-Jūzjānī: The Problem of the Ptolemaic Equant.» *Journal for the History of Arabic Science:* vol. 4, no. 2, Fall 1980.

———. «The First Non - Ptolemaic Astronomy at the Maraghah School.» *Isis:*

vol. 70, no. 254, December 1979.

———. «The Original Source of Quṭb al-Dīn al-Shīrāzī's Planetary Model.» *Journal for the History of Arabic Science:* vol. 3, no. 1, Spring 1979.

———. «Theory and Observation in Islamic Astronomy: The Work of Ibn al-Shāṭir of Damascus (d. 1375).» *Journal for the History of Astronomy:* vol. 18, 1987.

Samsó, Julio. «Astrology, Pre-Islamic Spain and the Conquest of al-Andalus.» *Revista del Instituto Egipcio de Estudios Islámicos:* vol. 23, 1985 - 1986.

———. «Astronomica Isidoriama.» *Faventia:* vol. 1, 1979.

———. «Dos colaboradores científicos musulmanes de Alfonso X.» *Llull:* vol. 4, 1981.

———. «The Early Development of Astrology in al-Andalus.» *Journal for the History of Arabic Science:* vol. 3, no. 2, Fall 1979.

———. «Ibn Hishām al-Lajmī y el primer jardín botánico en al-Andalus.» *Revista del Instituto Egipcio de Estudios Islámicos en Madrid:* vol. 21, 1981 - 1982.

———. «Maslama al-Majrīṭī and the Alphonsine Book on the Construction of the Astrolabe.» *Journal for the History of Arabic Science:* vol. 4, no. 1, Fall 1980.

———. «Notas sobre la trigonometría esférica de Ibn Mu'ād.» *Awrāq:* vol. 3, 1980.

——— et J. Martínez Gázquez. «Algunas observaciones al texto del Calendario de Córdoba.» *Al-Qanṭara:* vol. 2, 1981.

——— et M. A. Catala. «Un instrumento astronómico de raigambre zarqālī: El cuadrante shakkāzī de Ibn Ṭībugā.» *Memorias de la Real Academia de Buenas Letras de Barcelona:* vol. 13, 1971 - 1975.

Sarton, G. «Early Observations of the Sun-Spots?» *Isis:* vol. 37, 1947.

Schoy, Karl. «Abhandlung des al-Ḥasan Ibn al-Ḥasan Ibn al-Haitham (alhazen) über die Bestimmung der Richtung der *Qibla.*» *Zeitschrift der Deutschen Morgenländischen Gesellschaft:* Bd. 75, 1921.

———. «Abhandlung von al-Faḍl b. Ḥātim al-Nayrīzī über die Richtung der *Qibla.*» *Sitzungsberichte der math. - phys. Klasse der Bayerischen Akademie der Wissenschaften zu München:* 1922.

———. «Sonnenuhren der Spätarabischen Astronomie.» *Isis:* vol. 6, 1924.

Seco de Lucena Paredes, L. «El ḥāŷib Riḍwān, la madraza de Granada y las

murallas del Albayzín.» *Al-Andalus:* vol. 21, 1956.

Sédillot, L. A. «Mémoire sur les instruments astronomiques des arabes.» *Mémoires de l'académie royale des inscriptions et belles-lettres de l'institut de France:* vol. 1, 1844.

Stern, S. M. «A Letter of the Byzantine Emperor to the Court of the Spanish Umayyad Caliph al-Ḥakam.» *Al-Andalus:* vol. 26, 1961.

Swerdlow, Noël M. «Aristotelian Planetary Theory in the Renaissance: Giovanni Battista Amico's Homocentric Spheres.» *Journal for the History of Astronomy:* vol. 3, 1972.

———. «The Derivation and First Draft of Copernicus's Planetary Theory: A Translation of the *Commentariolus* with Commentary.» *Proceedings of the American Philosophical Society:* vol. 117, no. 6, December 1973.

Tekeli, S. «(The) *Equatorial Armilla* of Iz(z) al-Din b. Muhammad al-Wafa'i and (the) *Torquetum.*» *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih - Cojrafya Fakültesi Dergisi:* vol. 18, 1960.

Terès, E. «'Abbās b. Firnās.» *Al-Andalus:* vol. 25, 1960.

———. «Ibn al-Šamir, poeta astrólogo en la corte de 'Abd al-Raḥmān II.» *Al-Andalus:* vol. 24, 1959.

Thorndike, Lynn. «Sexagenarium.» *Isis:* vol. 42, 1951.

Toomer, G. J. «Prophatius Jadaeus and the Toledan Tables.» *Isis:* vol. 64, no. 223, September 1973.

———. «The Solar Theory of az-Zarqāl: A History of Errors.» *Centaurus:* vol. 14, no. 1, 1969.

———. «A Survey of the Toledan Tables.» *Osiris:* vol. 15, 1968.

Torres Balbás, Leopoldo. «Las norias fluviales en España.» *Al-Andalus:* vol. 5, 1940.

Ünver, A. S. «Osmanli Türkerinde İlim Tarihinde Muvakkithaneler.» *Atatürk Konferenslari:* vol. 5, 1975.

Vernet, Juan. «Astrología y política en la Córdoba del siglo X.» *Revista del Instituto Egipcio de Estudios Islámicos:* vol. 15, 1970.

———. «La Supervivencia de la astronomía de Ibn al-Bannā.» *Al-Qanṭara:* vol. 1, 1980.

Viladrich, Merce. «On the Sources of the Alphonsine Treatise Dealing with the Construction of the Plane Astrolabe.» *Journal for the History of Arabic Science:* vol. 6, 1982.

———. «Dos capítulos de un libro perdido de Ibn al-Samḥ.» *Al-Qanṭara:* vol. 7, 1986.

Wieber, Reinhard. «Überlegungen zur Herstellung eines Seekartogramms anhand der Angaben in den Arabischen Nautikertexten.» *Journal for the History of Arabic Science:* vol. 4, no. 1, Fall, 1980.

Wiedemann, Eilhard E. and J. Frank. «Die Gebetszeiten im Islam.» *Sitzungsberichte der Physikalisch - medizinischen Sozietät in Erlangen:* Bd. 58, 1926.

——— and Th. W. Juynboll. «Avicennas Schrift über ein von ihm ersonnenes Beobachtungsinstrument.» *Acta Orientalia:* Bd. 5, 1927.

Würschmidt, J. «Die Zeitrechnung im Osmanischen Reich.» *Deutsche Optische Wochenschrift:* 1917.

Conferences

Actas de las Jornadas de Cultura Arabe e Islámica (1978). Madrid: [n. pb.], 1981.

Actas de las II Jornadas de Cultura Arabe e Islámica. Madrid: [n. pb.], 1985.

Actas del II Coloquio Hispano-Tunecino de Estudios Históricos. Madrid: [n. pb.], 1973.

Actas del XII Congreso de la U.E.A.I. Madrid: [n. pb.], 1986.

Actas del XII Congresso Internazionale de Filosofia XI. Florence: [n..pb.], 1960.

Actes du Xe Congrès international d'histoire des sciences. Paris: [s. n.], 1964.

Colloquia Copernicana. Wroclaw: Ossolineum, 1975. (Studia Copernicana; 13)

Dizer, Muammer (ed.). *Proceedings of the International Symposium on the Observations in Islam, Istanbul, 19-23 September 1977.* Istanbul: [n. pb.], 1980.

International Astronomical Union, Colloquium (91st: 1985: New Delhi, India). *History of Oriental Astronomy.* Cambridge; New York: Cambridge University Press, 1987.

Premier colloque international sur l'histoire des mathématiques arabes. Alger: [s. n.], 1988.

Proceedings of the First International Symposium for the History of Arabic Science... 1976. Aleppo: University of Aleppo, Institute for the History of Arabic Science, 1978.

Proceedings of the XVIth International Congress for the History of Science. Bucharest: [n. pb.], 1981.

Sabra, A. I. (ed.). *Proceedings of the Conference on Islamic Intellectual History, Harvard University, May 1988.*

Segundo Congreso Internacional de Estudios sobre las Culturas del Mediterráneo Occidental. Barcelona: [n. pb.], 1978.

Seminar on Early Islamic Science, University of Manchester, 1, 1976.

Theses

Carabeza, J. M. «Aḥmad b. Muḥammad b. Ḥayyāy al-Ishbīlī: Introduccion, estudio y traduccion, con glosario.» (Unpublished Ph. D. Thesis, University of Granada, 1988).

Cárdenas, A. J. «A Study and Edition of the Royal Scriptorium Manuscript of *El Libro del Saber de Astrologia* by Alfonso X, el sabio'.» (Ph. D. Dissertation, University of Wisconsin, 1974). 3 vols. (University Microfilms, Ann Arbor).

Irani, Rida A. K. «The *Jadwal at-Taqwīm* of Ḥabash al-Ḥāsib.» (Unpublished M. A. Dissertation, American University of Beirut, 1956).

Ragep, Faiz Jamil. «Cosmography in the Tadhkira of Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī.» (Unpublished Doctoral Dissertation, Harvard University, Department of History of Sciences, 1982).

Swerdlow, Noël M. «Ptolemy's Theory of the Distances and Sizes of the Planets: A Study of the Scientific Foundations of Medieval Cosmology.» (Doctoral Dissertation, Yale University, 1968). (University Microfilms International 69-8442).